

Máster en Software y Sistemas

Universidad Politécnica de Madrid

Facultad de Informática

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación y Tratamiento basados en Realidad Virtual de la Negligencia Espacial Unilateral: Análisis del Estado de la Cuestión y Demostración de Enfoques Alternativos

Autor: Daniel Fernández-Avilés Pedraza

Directora: Angélica de Antonio Jiménez

MADRID, JULIO DE 2014

A mi familia y amigos por todo
su apoyo y ayuda en los momentos
difíciles durante el año.

A Angélica por su tutoría,
fundamental para la realización del
proyecto.

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta en primer lugar de forma detallada la enfermedad denominada negligencia espacial unilateral (síntomas, tipos, causas, evaluación y tratamientos) para proporcionar una mejor comprensión del principal objetivo del estudio, que es el análisis de las soluciones virtuales, existentes en la literatura, aplicadas al tratamiento de esta enfermedad, incluyéndose una amplia descripción de cada estudio encontrado sobre el tema. A continuación, se han realizado tres implementaciones en realidad virtual de tres técnicas clásicas de rehabilitación llevadas a cabo en un entorno virtual, que son la estimulación optocinética, *eye patching*, y adaptación prismática y se ha desarrollado una aplicación 3D para evaluar el grado y tipo de negligencia sufrida por los pacientes. Que de forma conjunta, constituyen un primer paso hacia un enfoque alternativo para el tratamiento de la enfermedad, más personalizado y eficaz. Por último, en las conclusiones, se analizan las principales ventajas y desventajas encontradas en el uso de estas tecnologías aplicadas a la enfermedad y los trabajos futuros que pueden derivar de este trabajo.

Abstract

The following work starts by presenting in detail a disease called unilateral spatial neglect (symptoms, types, causes, assessment and treatment) to provide the background for this study's main objective, which is the analysis of the virtual solutions existing in the literature for the treatment of this disease. The document includes an extensive description of the previous work found in this topic. Afterwards, three implementations of three classical rehabilitation techniques were performed in virtual reality: optokinetic stimulation, eye patching and prism adaptation, as a proof-of-concept, and a 3D application was implemented to assess the degree and type of negligence suffered by patients. Altogether, they constitute a first step towards an alternative approach for the treatment of disease, more personalized and effective. Finally, the conclusions analyze the main advantages and disadvantages encountered in the use of these technologies when applied to this disease and suggest future work.

Índice general

1. Introducción.....	1
2. Negligencia Espacial Unilateral	3
2.1 Causas	4
2.2 Valoración.....	5
2.3 Tratamientos convencionales.....	15
3. Realidad virtual aplicada a la enfermedad.....	21
3.1 Trabajos existentes.....	21
3.1.1 Evaluación de la negligencia	22
3.1.2 Rehabilitación de la negligencia	37
3.1.3 Estudios teóricos sobre la negligencia espacial unilateral	46
3.2 Comparativa de dispositivos y configuraciones empleadas	48
4. Demostración de tres técnicas de rehabilitación en Realidad Virtual	59
4.1 Análisis de las tecnologías existentes	59
4.2 Plataforma para la creación del entorno virtual	64
4.3 Escenario virtual	66
4.4 Estimulación optocinética.....	67
4.5 <i>Eye patching</i>	68
4.6 Adaptación prismática	71
5. Evaluador del tipo y grado de negligencia en Realidad Virtual	73
5.1 Análisis de las tecnologías existentes	73
5.2 Plataforma para la creación del entorno virtual	73
5.3 Arquitectura software del sistema.....	73
5.4 Desarrollo de la aplicación	74
6. Conclusiones y trabajos futuros.....	83
Bibliografía.....	87

Índice de figuras

Figura 2.1. Pruebas convencionales en diferentes estudios	6
Figura 2.2. Ejemplo de tarea de copia de figuras geométricas.	7
Figura 2.3. Ejemplo de tarea de cancelación de líneas	8
Figura 2.4. Ejemplo de bisección de líneas	10
Figura 2.5. Ejemplo de ilusión de Wundt-Jastrow	11
Figura 2.6. Diagrama que muestra la entrada de cada ojo a cada hemisferio	16
Figura 2.7. Parche que cubre medio ojo	16
Figura 2.8. Sistema Bon Saint Come.....	18
Figura 3.1. Escena con los diez objetos del estudio	23
Figura 3.2. Reloj virtual.....	23
Figura 3.3. Sistema de realidad virtual	24
Figura 3.4. Kaiten-zushi virtual	25
Figura 3.5. Test dibuja y copia virtual.....	26
Figura 3.6. Sistema semi-inmersivo	27
Figura 3.7. Test de cancelación virtual.....	28
Figura 3.8. Sistema VRROOM.....	29
Figura 3.9. Jardín virtual con varios objetos incoherentes	31
Figura 3.10. Paseo virtual	32
Figura 3.11. Tests convencionales en un entorno virtual	34
Figura 3.12. Sistema virtual.....	36
Figura 3.13. Sistema virtual con HMD	37
Figura 3.14. Sistema virtual no-inmersivo	38
Figura 3.15. Paciente cruzando la calle	39
Figura 3.16. Estímulos visuales y auditivos antes de un posible atropello	40
Figura 3.17. Representación virtual de las calles de Valencia	40
Figura 3.18. Escenario virtual de entrenamiento	41
Figura 3.19. Esquema de la configuración del sistema	42
Figura 3.20. Juegos virtuales de entrenamiento	44
Figura 3.21. Elementos del sistema.	45
Figura 3.22. Sistema virtual <i>Stringed Haptic Workbench</i>	47
Figura 3.23. Joystick.....	48
Figura 3.24. Eye Toy	48
Figura 3.25. Aguja mecánica.....	49
Figura 3.26. Sensores magnéticos	49
Figura 3.27. Guante de datos	50
Figura 3.29. HMD	51
Figura 3.30. Gafas estereoscópicas	51

Figura 3.31. Sistema PARIS	52
Figura 3.32. Phantom	52
Figura 3.33. SPIDAR	53
Figura 3.34. 3D inmersivo.....	54
Figura 3.35. 3D no inmersivo.....	54
Figura 3.36. 2D no inmersivo.....	55
Figura 3.37. Realidad aumentada	55
Figura 3.38. Comparativa de dispositivos y configuraciones de las aplicaciones.....	56
Figura 4.1. Kinect	60
Figura 4.2. Rango de visión del sensor.....	60
Figura 4.3. Articulaciones que detecta el sensor	61
Figura 4.4. Rango de entrada de audio del sensor	61
Figura 4.5. Oculus Rift	62
Figura 4.6. Leap Motion	63
Figura 4.7. Interfaz Unity 3D	64
Figura 4.8. Escenario virtual.....	66
Figura 4.9. Estimulación optocinética	67
Figura 4.10. Mitad derecha tapada	68
Figura 4.11. Mitad izquierda tapada.....	69
Figura 4.12. Ojo derecho tapado	69
Figura 4.13. Ojo izquierdo tapado	70
Figura 4.14. Adaptación prismática.....	71
Figura 5.1. Arquitectura del sistema.....	73
Figura 5.2. Leyenda de la arquitectura	74
Figura 5.3. Pantalla de inicio	74
Figura 5.4. Pantalla de calibración	75
Figura 5.5. Test tocarse la oreja derecha	76
Figura 5.6. Test tocarse la rodilla izquierda	76
Figura 5.7. Test tocar la oreja derecha de un avatar situado delante	77
Figura 5.8. Test tocar el codo izquierdo de un avatar situado delante	77
Figura 5.9. Test seleccionar la pelota más grande	78
Figura 5.10. Test seleccionar el bolígrafo más grande	78
Figura 5.11. Resultados de la evaluación	79
Figura 5.12. Tabla relacional de los tests y las partes del diagnóstico que afectan.....	80

1. Introducción

La negligencia espacial unilateral consiste en la incapacidad de las personas que las sufren de prestar atención a una región del espacio tridimensional (izquierdo o derecho), dependiendo del lado del cerebro dañado, ignorando completamente todos los estímulos que recibe por la región dañada.

El propósito de este trabajo es proporcionar un estudio centrado en el uso de la realidad virtual en la evaluación y tratamiento o rehabilitación de la negligencia espacial unilateral (NEU) y mostrar las principales soluciones implementadas en este campo, así como, sus aportaciones más relevantes.

La estructura del trabajo es la siguiente:

El segundo capítulo describe en que consiste la enfermedad, cuáles son sus principales causas, así como, los distintos tipos y grados de NEU existentes en los distintos pacientes, cuales son los métodos de evaluación y los principales tratamientos para la rehabilitación.

En el tercer capítulo se va a realizar una pequeña introducción de la realidad virtual y de los principales beneficios de su uso aplicada a la NEU. A continuación, se va a describir una serie de trabajos publicados que tienen como eje central la realidad virtual aplicada a la evaluación y rehabilitación de la negligencia espacial unilateral. Estas descripciones serán detalladas y se enumerarán los aportes que estas investigaciones han tenido. Por último, se realizará una pequeña comparativa del tipo de entornos virtuales utilizados en los experimentos, así como, los distintos dispositivos necesarios para llevarlos a cabo.

El cuarto capítulo contiene un pequeño análisis de las posibles tecnologías en la actualidad a utilizar para implementar las tres soluciones en un entornos virtual de tres técnicas de tratamiento para la NEU, la estimulación optocinética, *eye patching* y la adaptación prismática. Destacar que en el mercado actual hay más dispositivos pero solamente se han tenido en cuenta aquellos a los que tenemos acceso. Y a continuación, se seleccionaron los que mejor se adaptaban a nuestras necesidades. Por último, se explica el proceso de desarrollo de las tres implementaciones de las técnicas de rehabilitación.

En el quinto capítulo se explica el desarrollo de una aplicación de evaluación o diagnóstico de la NEU, la cual, evalúa el tipo y el grado de la enfermedad a través de unas pruebas en un entorno virtual.

Finalmente, el sexto capítulo enumera las conclusiones a las que se ha llegado tanto por la investigación como por el desarrollo de las implementaciones desarrolladas. Asimismo, este capítulo también plantea algunas líneas de trabajo futuro que se podrían derivar de este trabajo.

2. Negligencia Espacial Unilateral

El cerebro humano está dividido en dos hemisferios, cada hemisferio se encarga de controlar el lado contrario del cuerpo. Por lo que el hemisferio izquierdo controla nuestro lado derecho y viceversa. La negligencia se ha definido como "el fallo a la hora de comunicarse, responder u orientarse frente a un estímulo importante o nuevo presentado en el lado opuesto del hemisferio del cerebro después de que este lado haya sufrido una lesión, cuando este fallo no puede atribuirse a un defecto sensorial o motor".

[1] En la mayoría de los casos, las lesiones están en el hemisferio derecho, concretamente en el lóbulo parietal, que generan una serie de síntomas y características que dan lugar a este síndrome. Este síndrome se caracteriza principalmente porque la persona afectada deja de atender a un lado de su cuerpo y el espacio que lo rodea. Incluso ignora una parte de los objetos que percibe. Aunque pueden seguir percibiendo sensaciones en la parte desatendida de su cuerpo, no las prestan atención. A esta parte sensitiva se podrían añadir disfunciones cognitivas y de comunicación, problemas de memoria, de atención y razonamiento. [2] Puede afectar a la parte visual, auditiva, táctil y al sistema olfativo. Además de la negligencia sensorial, también puede aparecer el abandono motor, lo que genera un uso reducido de las extremidades del lado opuesto al de la lesión, al caminar o al realizar actividades manuales. Se pueden observar desviaciones en la postura, la cabeza, los ojos y el tronco, así como, la falta de exploración ocular y de movimiento de la mano hacia el hemisferio espacial desatendido. La negligencia espacial es un síndrome que limita la capacidad del paciente para realizar actividades cotidianas como vestirse, la lectura, o la práctica de la higiene personal, y aumenta el riesgo de accidentes como caerse, golpearse con objetos al caminar o de ser atropellado por un coche al cruzar la calle. Es un síndrome que afecta a casi un tercio de todos los pacientes con ictus, de los cuales un tercio permanecen con una discapacidad severa en sus actividades diarias después de los primeros meses de rehabilitación.

El síndrome puede afectar a cuatro dominios espaciales: la representación interna del espacio, el espacio que pertenece sólo al cuerpo del paciente (personal), el espacio dentro del alcance del brazo (peri-personal) y el espacio fuera del alcance del brazo (extra-personal). [3] La primera etapa típicamente está asociada con una fuerte hemiplejía (trastorno en el cual el paciente tiene la mitad contralateral paralizada), la cual puede complicarse por una anosognosia (desconocimiento de la enfermedad) o una tendencia, igualmente sorprendente, a racionalizarlo o minimizarlo. En la mayoría de los casos estos síntomas desaparecen en las primeras semanas; sin embargo, durante meses puede continuar una preferencia por los estímulos del lado derecho.

2.1 Causas

La negligencia unilateral es una condición neuropsicológica que es causada por diversas dolencias que afectan al cerebro. Los ictus se encuentran entre una de las causas más comunes de la negligencia. El área del cerebro afectada por el derrame cerebral sugerirá la posible discapacidad física que sufrirá la persona. Debido a la forma en que las conexiones nerviosas están dispuestas, cuando un accidente cerebrovascular afecta la parte del cerebro llamada lóbulo parietal del hemisferio, la víctima del derrame cerebral puede “olvidar” o descuidar la existencia del lado opuesto de su cuerpo, y de esta manera sufrir NEU. El sujeto dejaría de percibir sensaciones y estímulos provenientes del lado opuesto al hemisferio dañado. Además del derrame, otras condiciones neurológicas comunes que causan la negligencia son los tumores cerebrales y traumatismos en la cabeza. [4]

Las áreas del cerebro en los lóbulos parietal y frontal están asociadas con el despliegue de la atención en el espacio contralateral. La negligencia es la más estrechamente relacionada a los daños en la unión temporoparietal y la corteza parietal posterior. Aunque existen casos de negligencia espacial en el hemisferio izquierdo, son más comunes en el hemisferio derecho. Esto puede ser debido a que el hemisferio derecho del cerebro se especializa en la percepción espacial (integra la información sobre los movimientos y la localización de las partes del cuerpo con la localización de los objetos en el espacio que nos rodea) y la memoria, mientras que el hemisferio izquierdo está especializado en lengua, no existe procesamiento redundante de los campos visuales correctos por ambos hemisferios. Por lo tanto el hemisferio derecho es capaz de compensar la pérdida de la función del hemisferio izquierdo, pero no viceversa. La negligencia se relaciona al daño en las áreas de procesamiento del cerebro. Los hemisferios cerebrales reciben la entrada, pero no hay un error en el procesamiento de la información sino que esta información no es bien entendida. [5]

2.2 Valoración

La valoración o diagnóstico es un paso fundamental anterior a los estudios experimentales y a la rehabilitación, este consiste, en la utilización de una serie de pruebas o baterías de pruebas diseñadas para evaluar los diferentes grados que puede presentar un paciente con una lesión cerebral.

En algunos casos, la enfermedad puede detectarse simplemente observando al paciente. Entre las manifestaciones asociadas con la negligencia destacan las siguientes: afeitarse solamente un lado de la cara, lavarse únicamente un lado del cuerpo, experimentar dificultad al vestirse o desvestirse, tener dificultades en decir la hora utilizando un reloj convencional, chocar con las personas y los objetos situados en su lado afectado, perderse con frecuencia y no encontrar el camino o ignorar la comida situada en uno de los lados del plato. Algunos de estos pacientes también manifiestan dificultades en algunos aspectos espaciales en habilidades básicas como la lectura, la escritura, la copia y el dibujo. Varias pruebas han sido propuestas como un medio para detectar y cuantificar los síntomas de negligencia espacial. La efectividad de estos tests aumenta si se combinan. En la Figura 2.1. se hace referencia a la utilización de estas técnicas en diversos estudios. [6]

AUTORES	AÑO	MÉTODO DE EVALUACIÓN
Brunn y Farah	1991	Bisección lineal, Tarea de búsqueda visual
Driver y Halligan	1991	BIT (Behavioural Inattention Test): Cancelación de líneas, letras y estrellas, Copiar figuras, Bisección lineal y Dibujo representacional
Berti y Rizzolatti	1992	Cancelación de líneas (Albert)
Butter y Kiersch	1992	Bisección lineal, Cancelación de líneas, cancelación de letras, Lectura, Dibujo de un reloj
D'Erme <i>et al.</i>	1992	Cancelación de líneas (Albert), Bisección lineal, Copia de dibujos, Identificación de figuras superpuestas, Búsqueda de animales en un tablero
Pizzamiglio <i>et al.</i>	1992	Tests de Albert, Cancelación de letras, Lectura de frases, Test de ilusión de Wundt-Jastrow, Evaluación funcional
Làdavas, Carletti y Gori	1993	Cancelación de letras, Cancelación de líneas, Cancelación de campanas
McGlinchey Berroth <i>et al.</i>	1993	Bisección de líneas, Cancelación de letras, formas y figuras, Dibujo de una figura, Lectura de palabras, Doble estimulación simultánea y Escala de anosognosia
Ládavas, Menghini y Umiltà	1994	Cancelación de letras, Cancelación de líneas, Cancelación de campanas, Señalar objetos extendidos sobre una mesa, Test de Làdavas et
Lennon	1994	Tareas de copiar y dibujar, Cancelación de

		líneas (Albert), de letras, y de estrellas, Tareas de lectura y observaciones clínicas informales
Rapport, Webster y Dutra	1994	Cancelación de letras
Robertson y North	1994	BIT: Cancelación de letras, Cancelación de estrellas, Bisección lineal, Copiar figuras, Dibujo representacional
Antonucci <i>et al.</i>	1995	Test de Albert, Cancelación de letras, Lectura de frases, Test de ilusión de Wundt-Jastrow, Evaluación funcional
Humphreys y Riddoch	1995	Lectura de palabras, Copia de dibujos, Dibujar de memoria, Cancelar líneas (Albert)
Kinsella <i>et al.</i>	1995	Tareas de extinción visual, auditiva y táctil, Cancelación de formas, Bisección lineal, Cancelación de círculos, Tarea de dibujar y Laberinto táctil
Riddoch <i>et al.</i>	1995	BIT
Serfaty <i>et al.</i>	1995	BIT: Cancelación de estrellas
Tromp, Dinkla, y Mulder	1995	Tarea de dibujar, Cancelación de letras, Bisección de líneas
Azouvi <i>et al.</i>	1996	Tareas de dibujar: una flor (margarita) y la Escena de Ogden, Cancelación de líneas (Albert), Cancelación de campanas, Tareas de lectura. Valoración funcional: CBS
Beschin <i>et al.</i>	1996	Cancelación de líneas, Cancelación de letras, Cancelación de Campanas
Fuentes y Humphreys	1996	Copiar dibujos, Cancelación de líneas, Bisección lineal y Lectura
Paolucci <i>et al.</i>	1996	Test de Albert, Cancelación de letras, Lectura de frases, Test de ilusión de Wundt-Jastrow
Tham y Tegnèr	1996	Cancelación de líneas (Albert), Cancelación de letras, Dibujo espontáneo de un hombre o mujer, una casa y un reloj, Copiar un cubo, Biseccionar una línea de 200 mm, Tarea de la bandeja de cocción (The baking tray task)
Walker, Young y Lincoln	1996	Cancelación de letras, Bisección de líneas, Dibujo de un reloj, Lectura de palabras, Lectura de textos, Test de reconocimiento de caras quiméricas
Samuelsson <i>et al.</i>	1997	BIT: Cancelar líneas (Albert), Cancelación de letras, Cancelación de estrellas, Copia de figuras, Dibujo representacional, Lectura

Figura 2.1. Pruebas convencionales en diferentes estudios

Existen una gran cantidad de pruebas que se realizan en lápiz y papel, las cuales denominaremos tests convencionales [6]:

Test de dibujo y copia

Esta prueba consiste en que el paciente copie unos dibujos lineales (por ejemplo una estrella de cuatro puntas o formas geométricas) o escenas más complejas compuestas por varios elementos. También se le puede pedir que dibuje de memoria varios objetos como una flor o una casa. El paciente se sitúa frente al papel perpendicular al suelo, el centro del folio tiene que pasar exactamente por la mitad de su cuerpo, dividiéndolo en dos partes iguales, derecha e izquierda.

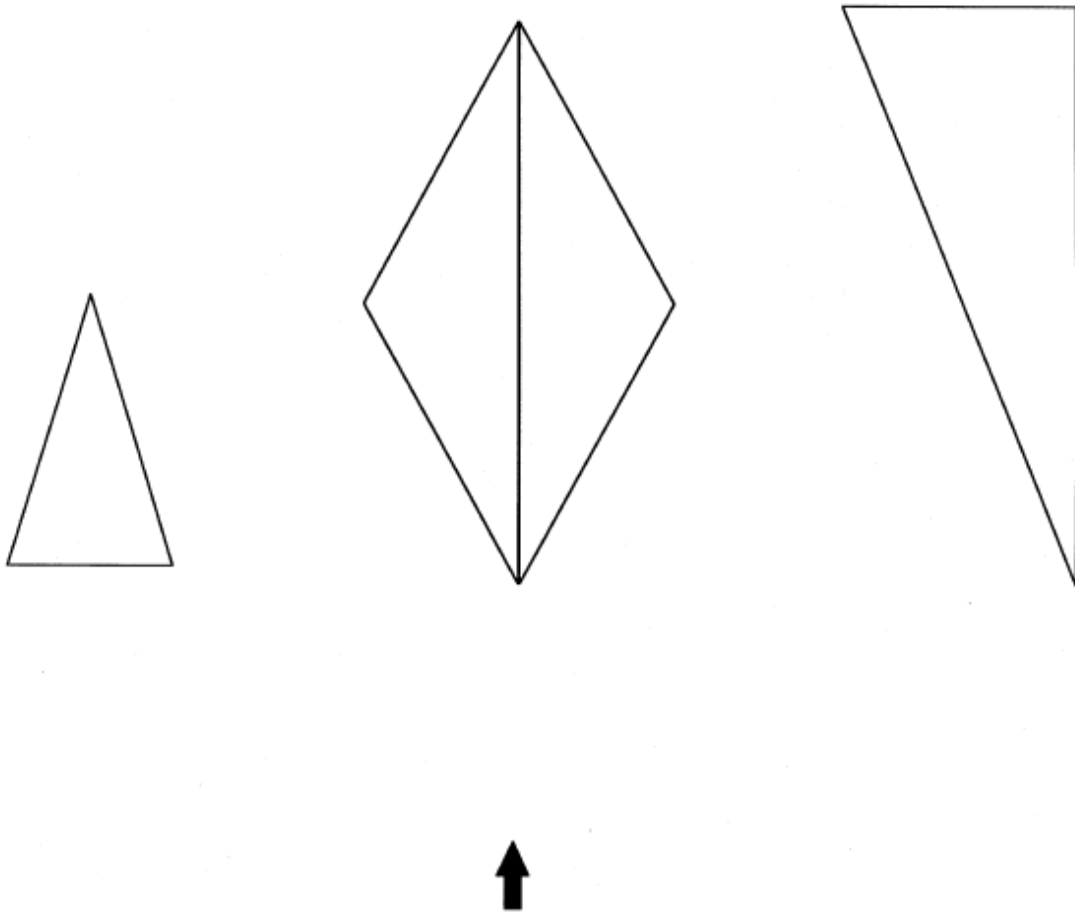


Figura 2.2. Ejemplo de tarea de copia de figuras geométricas.

Test de cancelación de líneas

En 1973 Albert diseñó un test [7], uno de los primeros estandarizados, que consiste en tachar cuarenta líneas de dos centímetros y medio longitud organizadas aparentemente al azar sobre una lámina de papel. Se presenta una columna central de cuatro líneas con las treinta y seis restantes divididas de tal manera que dieciocho líneas se sitúan a cada lado de la columna central.

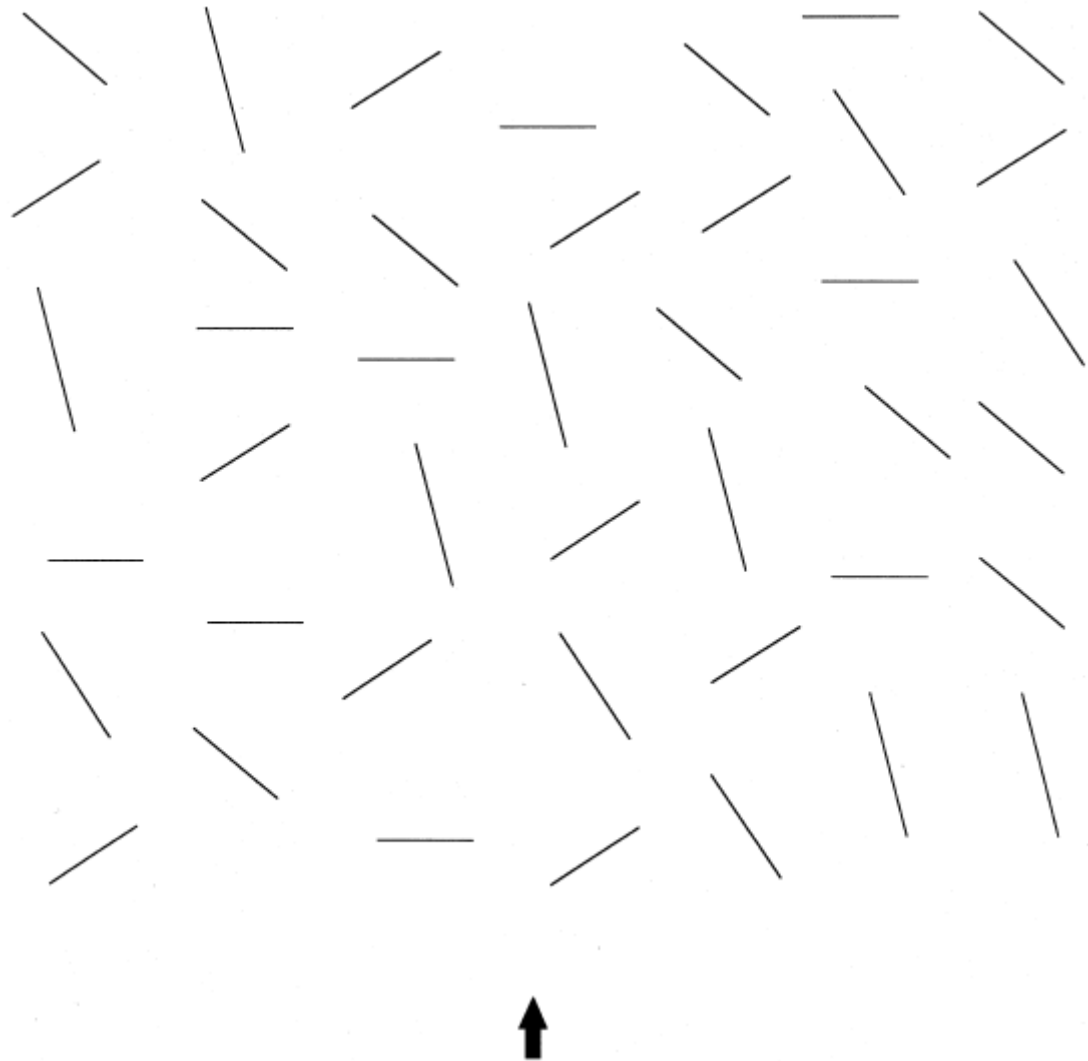


Figura 2.3. Ejemplo de tarea de cancelación de líneas

Test de cancelación de campanas

En el test de cancelación de campanas, [8] se presenta al paciente una lámina que contiene treinta y cinco estímulos objetivo (campanas) y doscientos ochenta distractores (casas, caballos, etc.). Los dibujos de los objetos se presentan de forma aparentemente aleatoria, pero en realidad están distribuidos en siete columnas que contienen, cada una, cinco campanas y cuarenta distracciones. Aparecen tres columnas en el lado izquierdo de la lámina, tres en el derecho y una en el centro. Se pide al paciente que rodee con un círculo, lo más rápido posible, las campanas que detecte que aparecen en la lámina. El examinador anota en una copia del test, el orden en el que el paciente rodea las campanas, lo cual permite evaluar su estrategia de exploración o la ausencia de la misma.

Test de cancelación con material verbal y no verbal

Mesulam en 1985 [9] creó un test que consiste en cuatro láminas, dos de ellas contenían estímulos no verbales con varias formas (por ejemplo, círculos grandes y pequeños con o sin aberturas o líneas que lo biseccionaban, Otros tests contenían estímulos verbales, siendo el objetivo la letra A. Se presentan dos formatos, el primero contiene trescientos setenta y cuatro elementos ordenados en columnas y filas, y el segundo está formado por un número menor de elementos ordenados de forma pseudo-aleatoria. En cada uno de los lados de la página se presentan treinta estímulos objetivo y los pacientes tienen como límite de tiempo para cada una de las láminas dos minutos.

Test de cancelación de estrellas

El objetivo de este test es que el paciente tache las estrellas dentro de una mezcla aparente de palabras, letras y estrellas. Se encuentran cincuenta y seis estrellas pequeñas que constituyen los objetivos. El examinador realiza una demostración al principio de la tarea tachando dos de las estrellas, por lo que la puntuación total es de cincuenta y cuatro. [10,11]

Test de bisección de líneas

La prueba consiste en que el paciente tiene que dividir cada línea situando una X en el punto central de la misma. La puntuación es la longitud que la estimación del centro de la línea por parte del paciente se desvía de su centro real. [12,13]

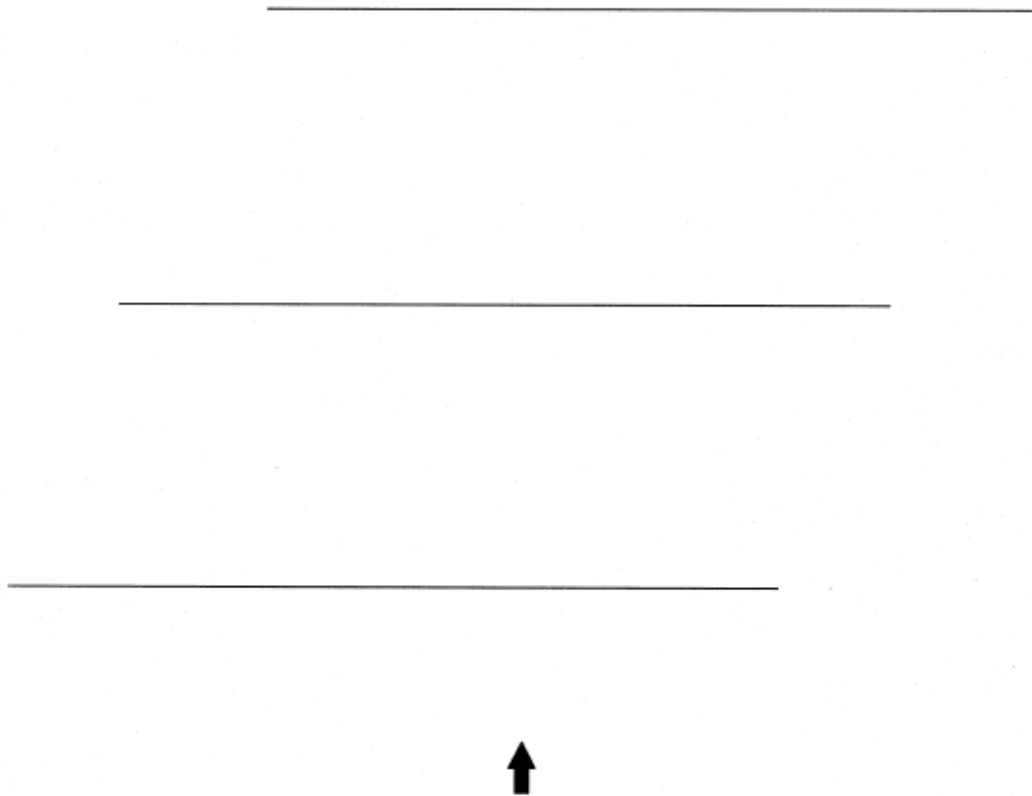


Figura 2.4. Ejemplo de bisección de líneas

Test de ilusión de Wundt-Jastrow

La ilusión de Jastrow es una ilusión óptica descubierta por Joseph Jastrow en 1889. Este efecto óptico hace al sujeto percibir que la imagen inferior es de mayor tamaño que la superior, cuando en realidad las dos imágenes son iguales. [14]

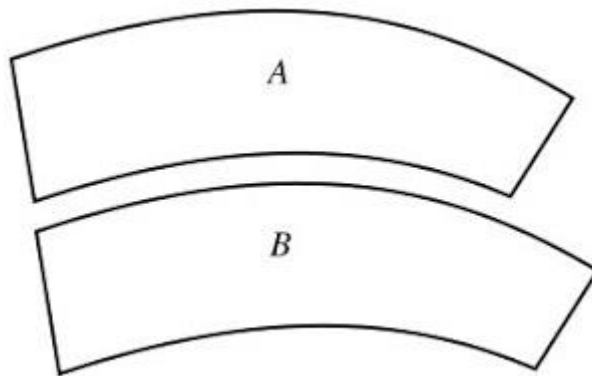


Figura 2.5. Ejemplo de ilusión de Wundt-Jastrow

Un buen complemento para la evaluación de los pacientes, consiste en realizar pruebas relacionadas con las actividades de la vida diaria. Azuvi en 2006 [15] demostró que algunos pacientes podían presentar clínicamente un grado significativo de negligencia en la vida cotidiana, mientras que obtenían un rendimiento normal en los test convencionales en lápiz y papel. Las pruebas complementarias son las siguientes [6]:

Test de Inatención Comportamental (Behavioural Inattention Test, BIT)

Consiste en dos secciones: los subtests convencionales y los subtests comportamentales. En la primera sección se incluye una versión estandarizada con seis test convencionales: bisección de líneas, cancelación de estrellas, copia de figuras y de formas, cancelación de líneas, dibujo representacional y cancelación de letras. Entre los subtests comportamentales fueron seleccionados por especialistas basándose en los problemas reales a los que se enfrentan los pacientes con NEU en su vida cotidiana. Estos subtests consisten en explorar dibujos o figuras, leer menús alimenticios, leer artículos de periódico, copia de frases y direcciones, llamar por teléfono de forma ficticia con un teléfono con tres teclas, decir y poner la hora (incluye leer la hora en un reloj convencional, en un reloj analógico y poner la hora con las manecillas móviles), clasificar monedas (identificando seis monedas que se les muestra en filas de a tres frente al paciente) y, por último, el desplazamiento por un mapa (en el que el paciente tiene que ir desde un punto a otro indicándolo con el dedo la ruta seguida).

The Catherine Bergego Scale (CBS)

Se trata de un pequeño ejercicio diseñado para detectar la presencia y grado de NEU en una muestra de actividades de la vida diaria [16]. Se intentó analizar la validez interna y externa de la CBS y sus relaciones con diversos tests convencionales, con la independencia funcional y con el conocimiento o consciencia del paciente sobre sus dificultades diarias. Los tests convencionales utilizados fueron: unas tareas de dibujar (copiar una margarita y la escena de Ogden), unas tareas de cancelación de líneas [7] y de campanas [8], y una tarea de lectura. Con el fin de evaluar el conocimiento sobre sus dificultades diarias se diseñó una versión paralela del ejercicio en forma de cuestionario para que los pacientes los rellenasen. El cuestionario fue creado para permitir una comparación directa entre las observaciones del terapeuta y el auto-informe del paciente, y de esta forma calcular una puntuación de anosognosia (no consciencia de la enfermedad).

La CBS consta de los siguientes ejercicios: que el paciente se lavase o afeitase la parte izquierda de su cara, se pusiese la manga del brazo izquierdo o la zapatilla del pie izquierdo, se comiese la comida del lado izquierdo del plato, se limpiase el lado izquierdo de la boca después de comer. Otros ejercicios estaban relacionados con que el paciente orientase de forma espontánea la mirada hacia el lado izquierdo del espacio, ejercicios sobre el conocimiento y manejo de la parte izquierda de su cuerpo (por ejemplo, poner el brazo izquierdo sobre el correspondiente brazo izquierdo de la silla), ejercicios enfocados en la atención auditiva al ruido o a la gente provenientes desde su lado izquierdo y por último, el paciente recibía colisiones con personas u objetos situados a su izquierda mientras caminaba.

Para evaluar el conocimiento del paciente sobre sus dificultades diarias se creó el siguiente cuestionario:

1. ¿Olvida asearse o afeitarse la parte izquierda de su cara?
2. ¿Algunas veces experimenta dificultad en ajustar su manga o zapatilla izquierda?
3. ¿Olvida alguna vez comer la comida que está en el lado izquierdo de su plato?
4. ¿Alguna vez olvida limpiar el lado izquierdo de su boca después de comer?
5. ¿Experimenta algunas veces dificultad en mirar a la izquierda?
6. ¿Olvida en ocasiones la parte izquierda de su cuerpo? Por ejemplo, ¿olvida poner su pie izquierdo sobre el reposapiés de la silla de ruedas u olvida utilizar el brazo izquierdo cuando lo necesita?
7. ¿Alguna vez tiene dificultad en atender a los ruidos o a las personas que se dirigen a usted desde su izquierda?
8. ¿Choca con gente u objetos situados en el lado izquierdo, tales como puertas u objetos de decoración, mientras pasea o va en silla de ruedas?
9. ¿Experimenta dificultad en hallar el camino, cuando se desvía hacia la izquierda, al ir por lugares familiares o por la unidad de rehabilitación?
10. ¿Algunas veces experimenta dificultad en hallar sus pertenencias en la habitación o cuarto de baño cuando se encuentran situadas a su izquierda?

Las respuestas del paciente se recogen en una escala de cuatro puntos (0 = sin dificultad, 1 = dificultad leve, 2 = dificultad moderada, 3 = dificultad severa).

The Fluff Test

Esta prueba examina el dominio espacio personal (el espacio que pertenece sólo al cuerpo del paciente) frente al espacio extra-personal (el espacio fuera del alcance de su brazo). [17] Las instrucciones para estas pruebas son claras y concisas. El procedimiento de ensayo se presenta de una forma sencilla. Se colocan veinticuatro círculos sobre el cuerpo del paciente en diversas áreas y se le pide que elimine la mayor cantidad de círculos posibles, con los ojos vendados.

Escala extra-personal y personal

Esta evaluación se divide en dos partes [18]:

- La primera parte se encarga de la evaluación funcional de la negligencia extra-personal y comprende cuatro escalas:
 1. Servir té. El paciente se sienta enfrente a una mesa en la que hay una bandeja que contiene cuatro tazas y platos, una tetera, un azucarero, cucharillas de café y servilletas de papel. A su lado se sientan tres profesionales médicos, uno a su derecha, otro en frente, y el último a su izquierda. A continuación, se pide al paciente que sirva el té para él y para los que están a su lado, que reparta las cucharillas y servilletas y que también sirva el azúcar. Un profesional médico que está sentado frente al paciente, pregunta: ¿Podría servir el té? Si el paciente sirve el té pero no distribuye las cucharillas o las servilletas, el examinador dice: ¿Podría darnos las cucharillas (servilletas)?
 2. Repartir cartas. Los profesionales médicos y el paciente se sientan al igual que en la situación de servir té. Se pregunta al paciente si sabe jugar a la Escoba. Si es necesario se le explican las reglas básicas. Entonces, un profesional médico que está sentado frente al paciente le pregunta: ¿Podría repartir las cartas para jugar a la escoba?
 3. Descripción de una figura compleja. Se sitúa un dibujo frente al paciente y se le pide que describa todo lo que ve en el dibujo. Se utilizan tres dibujos; dos de ellos son las tarjetas número 3 y 6 (45 x 32 centímetros) del Set 1 de la composición de dibujos progresivos de Byrne [19], el tercero es el dibujo de Tissot de La danza sobre el barco (80 x 120 centímetros). La peculiaridad de este dibujo es que sólo se puede identificar el barco mirando el lado izquierdo del dibujo. De hecho, el puente del barco y el mar aparecen solamente en ese lado. El profesional médico indica, sobre una fotocopia de la figura, las personas y objetos señalados por el paciente en el orden en que son descritos por el paciente.
 4. Descripción de un ambiente. El paciente se sitúa en una habitación llena de objetos a ambos lados (sillas, cuadros, lámparas) y se le pide que la describa. La observación se centra en su habilidad para explorar el ambiente en su totalidad.

- La segunda se encarga de la evaluación funcional de la negligencia personal, en este test se pide al paciente que demuestre el uso de objetos comunes. Se le presenta un objeto cada vez y se le dice:
 1. ¿Podrías peinarte?
 2. Muéstrame cómo utilizas la máquina de afeitar (hombres) o como te pones los pendientes (mujeres).
 3. Muéstrame como te pones las gafas.

The Baking Tray Task

Tham y Tegnér en 1996 crearon un test [20] que consiste en que el sujeto tome unos cubos situados en una caja frente a él y que los extienda, lo más uniformemente posible, sobre un tablero como si fuesen pasteles sobre una bandeja de horno. Este test no tiene límite de tiempo y se pide a los sujetos que utilicen todos los cubos. Si olvidan alguno, se les recuerda hasta que todos hayan sido distribuidos. Cuando la tarea ha finalizado se transfieren los resultados a una hoja de papel, y se cuenta el número de cubos en cada una de las posiciones del tablero.

2.3 Tratamientos convencionales

Los tratamientos consisten en encontrar la manera de atraer la atención del paciente hacia el lado desatendido, generalmente se hace progresivamente, yendo unos pocos grados más allá de la línea media del ángulo de visión del paciente, y avanzando desde allí hacia el lado desatendido. La rehabilitación de la negligencia se realiza a menudo por neuropsicólogos, terapeutas ocupacionales, logopedas, fisioterapeutas, optometristas y ortoptistas. En general, puede esperarse algún grado de recuperación dentro de las siguientes semanas o meses después del ictus, pero la gravedad del accidente cardiovascular dicta a menudo el tiempo de recuperación. Los pacientes que están recuperándose de la NEU obtienen mejores resultados en la rehabilitación si se inicia dentro de los 3 meses después de haber sufrido el accidente cerebrovascular.

En la mayoría de los casos de inatención se produce una regresión espontánea. Por ello, el interés por la rehabilitación de dichas alteraciones comenzó en los años setenta, cuando empezaron a publicarse estudios que constataban que un 10-50% de los pacientes mostraba una persistencia de la inatención después de 3-6 meses de la lesión. Se podría agrupar las distintas técnicas de rehabilitación según los mecanismos alterados sobre los que actúan: técnicas de rehabilitación que actúan sobre la vigilancia y el nivel de activación atencional, técnicas de rehabilitación que actúan sobre las referencias espaciales y las representaciones espaciales: las manipulaciones sensoriales, técnicas de rehabilitación que actúan sobre el área pre-motriz y la atención pre-motriz y las técnicas de rehabilitación que actúan sobre la orientación de la mirada. [21]

Técnicas de rehabilitación que actúan sobre la vigilancia y el nivel de activación de la atención

- Se ha demostrado que a través del uso de fármacos se ha aumentado la activación de la atención mediante la utilización de catecolaminas. [22] Además, se ha indicado que se podría aumentar la capacidad de atención sostenida con tratamientos noradrenérgicos conocidos por modular el estado de vigilancia en sujetos normales. [23]
- En cuanto a los tratamientos no farmacológicos, se ha observado que mantener un nivel elevado de vigilancia o de atención constante mejora la inatención, por ejemplo usando tareas de clasificación de cartas u objetos [24, 25], pero esta mejoría no ha sido evaluada a largo plazo y tampoco su generalización.
- *Eye patching*, esta técnica de rehabilitación consiste en tapar el mismo lado de visión de cada ojo al del hemisferio dañado (mitad derecha o izquierda dependiendo del tipo de negligencia sufrida) o tapar el ojo completamente, basándose en la hipótesis que afirma que una disminución de la activación del colículo disminuiría su control de los movimientos oculares hacia el lado opuesto y, por consiguiente, la inatención. Hay estudios que observan mejoría de la inatención durante el tiempo que el sujeto lleva el parche. [26]

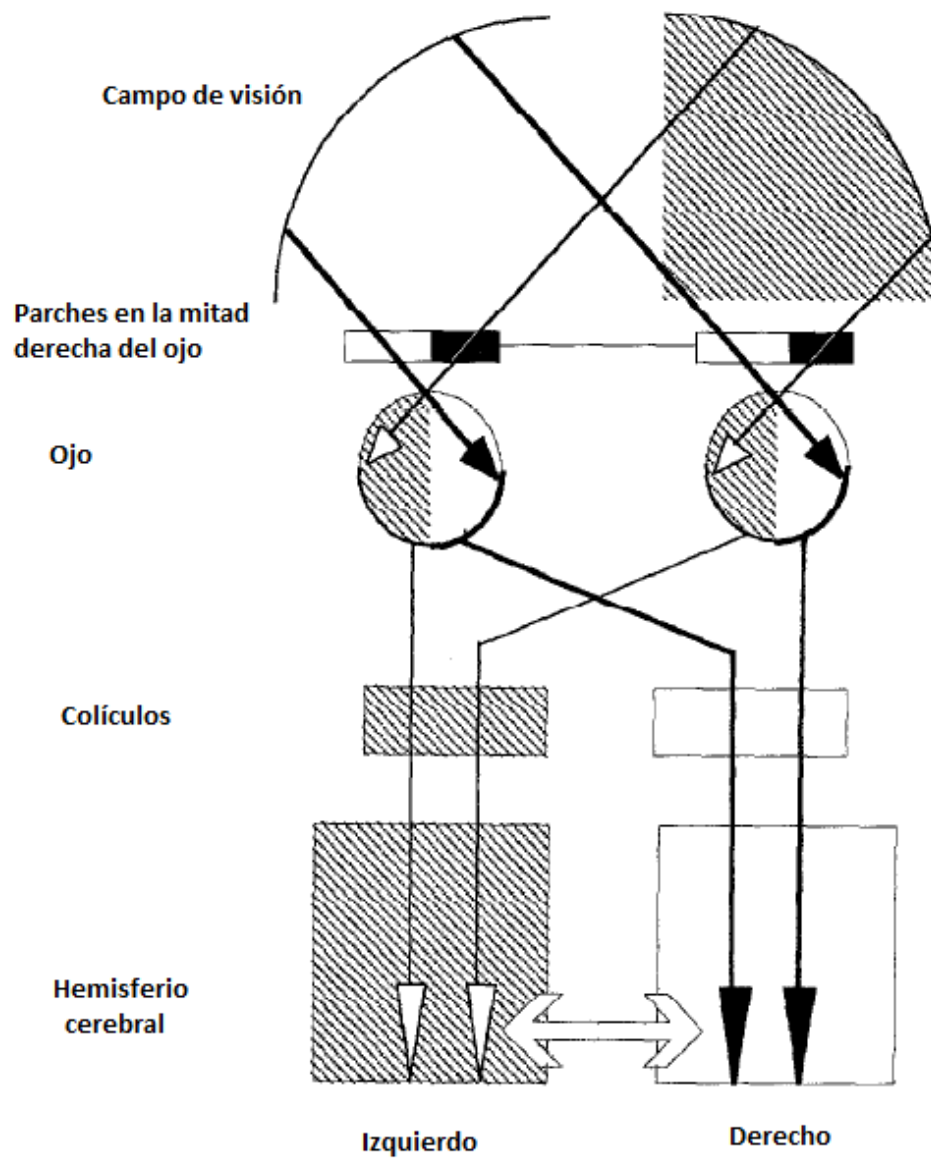


Figura 2.6. Diagrama que muestra la entrada de cada ojo a cada hemisferio

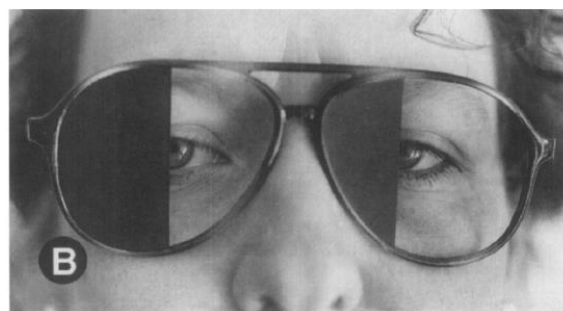


Figura 2.7. Parche que cubre medio ojo

Técnicas de rehabilitación que actúan sobre las referencias espaciales y las representaciones espaciales

Las siguientes técnicas producen un cambio de conducta automática (*bottom-up*) o un recalibrado de mecanismos sensoriomotrices. En estas técnicas no es necesario que el paciente sea consciente de la enfermedad y son:

- La estimulación calórica vestibular por instilación de agua fría en el conducto auditivo interno del oído contrario a la lesión, que induce un cambio en la dirección de la mirada. Debido a que el síndrome es causado a un sesgo de la mirada y de la postura, entonces, la estimulación vestibular calórica, que produce desviaciones de los ojos en la dirección opuesta a este sesgo, podría reducir los signos de NEU. [27]
- La estimulación optocinética, esta técnica se basa en dirigir un estímulo de derecha a izquierda o viceversa. La estimulación optocinética es una técnica que consiste en que varios estímulos visuales se desplacen hacia la izquierda o hacia la derecha a una velocidad elevada, mientras el sujeto realiza una tarea o ejercicio. Este efecto produce el movimiento de los ojos deseado hacia el lado convenido de forma lenta. [28]
- La estimulación eléctrica transcutánea en la nuca. Este tratamiento proporciona una entrada sensorial, que activa las fibras nerviosas aferentes. Este efecto clínico está asociado con el aumento de la inhibición del reflejo sóleo H producido por la vibración transcutánea en el tendón de Aquiles. Los mecanismos exactos que subyacen a estos fenómenos son complejos y no están nada claros, pero los últimos hallazgos sugieren que la estimulación eléctrica transcutánea en la nuca puede producir una entrada propioceptiva a través de las fibras aferentes de gran diámetro. Estas observaciones plantean la posibilidad de que la estimulación eléctrica transcutánea en la nuca aplicada en la parte izquierda del cuello puede afectar positivamente en la NEU. [29]
- La estimulación propioceptiva de los músculos de la nuca contralateral a la lesión, [30] propone una mejora de la inatención cambiando la localización percibida de la línea media del cuerpo en el espacio contrario a la lesión y la modulación de la mirada por la orientación de la cabeza hacia el hemisferio espacial ignorado.
- El método de Bon Saint Come de rotación del tronco. [31] Este método asocia el reacondicionamiento exploratorio con la rotación voluntaria del tronco. Este método tiene una fase de aprendizaje para el paciente, que consiste en que el sujeto con su movimiento rotacional del tronco, maneja o mueve un puntero. Cuando el paciente controla el puntero de forma adecuada, debe detectar las señales visuales y auditivas y tocar el objetivo desde donde provienen con el puntero (ver Figura 2.8). Si el paciente identifica bien el objetivo, se pasa al siguiente objetivo que emitirá las señales pertinentes, proporcionando retroalimentación positiva. Por el contrario, si el paciente no identifica el

objetivo, el sistema no emite ninguna respuesta y se le pide al paciente que vuelva a intentarlo.



Figura 2.8. Sistema Bon Saint Come

- La estimulación magnética transcraneal (EMT) del hemisferio no lesionado. [32]
La EMT es una técnica actual y de uso reciente que permite modular la actividad cerebral, de forma segura y no invasiva, mediante la generación de un campo magnético que penetra fácilmente a través del cráneo e induce una corriente eléctrica al cerebro. A través de la EMT es posible activar, o interferir, en determinadas funciones cerebrales de forma específica, consiguiendo incluso efectos a largo plazo, lo cual la convierte en una técnica con prometedoras aplicaciones clínicas en aquellas alteraciones en las que se busque generar modificaciones de la actividad cerebral.

- La adaptación prismática (AP), consiste en la utilización de unas lentes prismáticas para inducir una desviación en la mirada hacia el lado del hemisferio dañado. [33] Dicha técnica ha mostrado una mejoría de los diferentes aspectos de la inatención visuoespacial como la exploración visual o la dislexia por inatención. Parece que este efecto positivo de adaptación continúa entre 2 h y unas semanas después sin llevar puestas las lentes prismáticas. Como se puede ver en la Figura 2.9., una sesión de adaptación prismática tiene tres períodos: antes del test, la etapa de exposición a la adaptación prismática y después del test. En la fase antes del test el sujeto no tiene ningún problema en encontrar el objetivo. En la fase temprana de la exposición, los pacientes muestran una gran desviación a la hora de encontrar el objetivo marcado, que se va corrigiendo poco a poco hasta que los sujetos adaptan su comportamiento a la desviación. Finalmente después del test este efecto de desviación continúa en el tiempo pero en el lado contrario.



Figura 2.9. Efecto adaptación prismática

- Otras técnicas se basan en actuar sobre las representaciones espaciales para mejorar los comportamientos de inatención. Realizando ejercicios de reconstrucción del esquema corporal por dibujos, ejercicios de imágenes mentales tanto visuales como motrices, por descripciones de figuras y trayectos o representaciones de posturas o gestos.[34]

Técnicas de rehabilitación que actúan sobre el área pre-motriz y la atención pre-motriz

Estas técnicas se basan en la hipótesis que afirma que los circuitos motores y de la atención están íntimamente relacionados. Los ejercicios consisten en usar la mano izquierda en forma de indicador espacio-motor en el espacio izquierdo para realizar tareas de señalar o de lectura. Son las que se utilizan con más frecuencia en la rehabilitación de la inatención y sus primeros resultados eficaces fueron constatados por el trabajo de Lawson en 1962, [35] que utilizó dicho método de exploración visual, consistente en un entrenamiento en lectura esencialmente siguiendo las líneas del texto con el dedo.

Técnicas de rehabilitación que actúan sobre la orientación de la mirada

Las técnicas de rehabilitación que actúan sobre la orientación de la mirada consisten en el re-entrenamiento de la exploración visual del espacio en el que se incita a los pacientes a dirigir su mirada hacia el espacio contrario a la lesión.

El estudio de Pizzamiglio [36] con neuroimagen funcional demuestra que estas técnicas consiguen un incremento de la activación de las regiones del hemisferio desatendido implicadas en la búsqueda visual.

Diller y Weinberg, [37] de la New York University han sistematizado un método de entrenamiento de exploración visual. Los trabajos de este equipo han mostrado una remisión significativa de la inatención usando una máquina de exploración creada por ellos (*scanning machine*) combinándola con otras técnicas como pruebas de exploración visual (tests de lectura y de cancelación). Este tipo de técnica es denominada *top-down*, ya que requiere que los pacientes sean conscientes de su enfermedad, y se basan en el entrenamiento del paciente para compensar voluntariamente la discapacidad.

3. Realidad virtual aplicada a la enfermedad

En los últimos años, la tecnología de realidad virtual ha surgido como una poderosa herramienta para estudiar la percepción y el control motor en sujetos sanos, así como, en diferentes poblaciones de pacientes con enfermedades, como por ejemplo sujetos que han sufrido un accidente cerebrovascular. El uso de la realidad virtual tiene múltiples ventajas, como su flexibilidad, permitiéndonos de forma sencilla mover un objeto en el espacio o modificarlo de acuerdo a las características de tamaño y forma necesarias. Además, en la realidad virtual no existen limitaciones espaciales en el entorno.

El objetivo final es permitir al paciente lograr una mayor independencia en las tareas relacionadas con las habilidades para desenvolverse en las actividades de la vida diaria. Con este fin, la realidad virtual tiene el potencial para ser utilizada como una nueva modalidad en la evaluación de la rehabilitación y tratamiento, debido a una serie de características únicas. Una de ellas es la capacidad de medir objetivamente el comportamiento en entornos complejos, pero seguros y válidos, mientras que mantiene un estricto control experimental sobre el envío de estímulos al paciente. Por un lado, la capacidad de individualizar las necesidades de tratamiento, mientras que proporciona una mayor estandarización de los protocolos de evaluación y de re-entrenamiento. Por otra parte, los entornos virtuales pueden proporcionar ensayos de aprendizaje repetidos y ofrecer la capacidad de aumentar gradualmente la complejidad de las tareas, mientras que se disminuye paulatinamente la ayuda proporcionada por el terapeuta. Lo que deriva en que los pacientes obtengan mejores resultados, debidos a que los pacientes podrían tener un entorno personalizado en el que realizar sus actividades y la posibilidad de llevar a cabo un seguimiento detallado de las mejoras que van alcanzando.

Aunque hay un número alentador de nuevos estudios centrados en el uso de la realidad virtual como un herramienta de evaluación y rehabilitación/tratamiento en pacientes con accidente cerebrovascular, se han realizado muy pocos estudios publicados sobre las aplicaciones de realidad virtual para la evaluación y el tratamiento de la negligencia.

3.1 Trabajos existentes

Existen en la actualidad tres principales dominios interconectados de aplicaciones de realidad virtual para la negligencia que son: la evaluación, la rehabilitación y el estudio teórico. Los dos primeros dominios han sido desarrollados bastante en los últimos años, pero, hasta ahora, pocas o ninguna aplicación de realidad virtual ha sido propuesta para el estudio teórico de la enfermedad. En los siguientes apartados se clasificará cada investigación en una de las tres ramas definidas. Por cada investigación se detallará el año en el que se realizó, los pacientes que la realizaron y el tipo de negligencia que sufrían, los objetivos o hipótesis a demostrar si existen, el equipamiento o sistema necesario para llevarlos a cabo, el procedimiento o guion seguido en la investigación, los recursos necesarios para poder llevarla a cabo y, por lo último, sus aportaciones más destacadas.

3.1.1 Evaluación de la negligencia

El primer estudio [38] se llevó a cabo en 2000 con dos grupos de pacientes: un grupo de pacientes sanos y el otro con pacientes con negligencia visual unilateral. El principal objetivo del estudio fue demostrar las siguientes dos hipótesis:

- La primera hipótesis afirma que el sistema es capaz de diferenciar entre los sujetos sanos y los sujetos con negligencia visual unilateral.
- La segunda hipótesis afirma que existen diferencias entre los pacientes sanos y los pacientes con negligencia visual unilateral en la realización de la exploración del espacio.

El equipo utilizado para ejecutar el experimento fue el sistema VReye, que se emplea para mostrar imágenes al sujeto y registrar el movimiento de sus ojos, este sistema consta de un tracking visual (ISCAN, Inc), un ordenador, un monitor Sony NTSC que muestra los ojos del paciente, un segundo monitor NTSC (Zenith Data System) que muestra la escena del entorno virtual desde el punto de vista del paciente, unas Head Mount Display (HMD) que muestran la escena virtual al sujeto y una salida y entrada de audio.

El procedimiento del experimento fue el siguiente: los sujetos realizaban el estudio sentados. La primera fase es de calibración, y consiste en ajustar, con la mayor exactitud posible, los requisitos que precisa el sistema del paciente, que va a realizar el experimento. De esta forma, el paciente podrá interactuar correctamente con el sistema. Esta fase consiste en mostrar estímulos visuales al paciente e ir preguntándole si los va percibiendo, en primer lugar se muestra una escena virtual con la Estatua de la Libertad, a continuación, y en la misma escena, se mueve el cursor por todo el escenario y por último, la escena cambia por un fondo blanco y se produce el calibrado de cinco puntos estratégicos de la pantalla, que son el punto central, esquina superior izquierda, esquina superior derecha, esquina inferior izquierda y esquina inferior derecha. La estrategia seguida para el calibrado de estos puntos, consiste en ir guiando al paciente poco a poco a través del cursor hacia estos puntos, cada vez que se produce un pequeño movimiento del cursor se va preguntando al paciente si lo ha percibido. Cuando el sistema está calibrado, empiezan las dos tareas que tiene que cumplir, divididas en dos escenas.

La primera escena está formada por diferentes objetos 3D que son un coche, una taza de té, una silla, un balón, un candado, un buzón de correo, un avión, una tetera, una lámpara y una calabaza. El objetivo de la escena es que el paciente identifique todos los objetos posibles y los contabilice. Después se muestra la segunda escena.

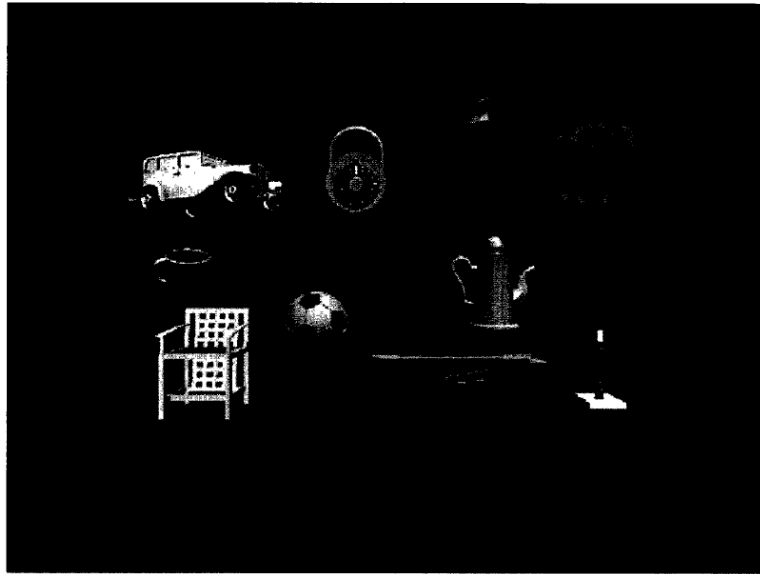


Figura 3.1. Escena con los diez objetos del estudio

La segunda escena representa un reloj centrado en el centro de la escena, la hora que marca el reloj es la una y cincuenta y uno con veinticinco segundos. Se pide al paciente que identifique el objeto y después que diga la hora que marca.

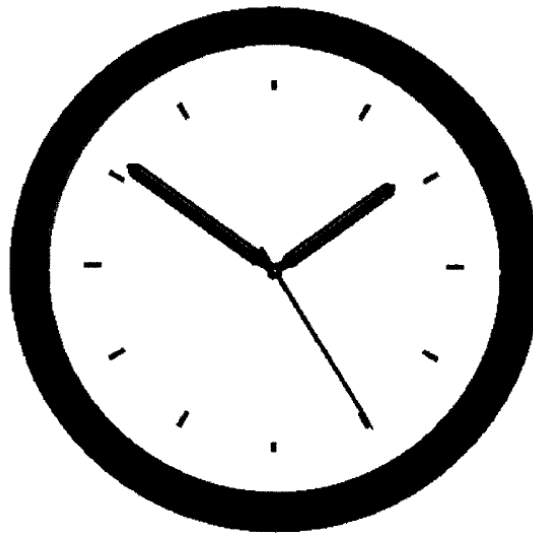


Figura 3.2. Reloj virtual

Destacar que todos los objetos son en color y que todos los movimientos de los ojos de los pacientes son registrados por el sistema.

Los resultados del estudio confirman las dos hipótesis planteadas y a su vez, añaden que el sistema suministra una gran cantidad de información sobre el comportamiento del paciente que puede ser de gran utilidad para el estudio de la enfermedad.

El segundo estudio [39] realizado en 2005 con once pacientes, cinco pacientes con NEU y seis pacientes sanos.

El sistema utilizado para el experimento se compone de una pantalla CRT, un espejo, unas gafas de obturación, una cámara infrarroja que captura el seguimiento de la mirada, una interfaz háptica (Phantom Premium), un sistema de altavoces y dos ordenadores. Un ordenador gestiona el mundo virtual y el otro controla el sistema de seguimiento de la mirada.



Figura 3.3. Sistema de realidad virtual

El escenario virtual representado es un Kaiten-zushi virtual (sushi giratorio), como se muestra en la Figura 3.4. Los pacientes controlan los palillos virtuales con el Phantom. En el estudio se pidió a los pacientes tomar una pieza de sushi igual al sushi objetivo y soltarlo en una ubicación definida. Cuando el sushi era colocado en la ubicación correcta, el sushi objetivo cambiaba a otro sushi. El sushi objetivo se muestra en el centro del mundo virtual. Existían diez piezas de sushi distintas, colocadas en intervalos de 36 grados sobre la mesa giratoria. El Kaiten-zushi giraba a una velocidad constante y la dirección de giro cambiaba en el sexto ensayo. Se producían situaciones interesantes para el estudio, ya que en determinadas ocasiones el mismo tipo de sushi podía acercarse desde el lado izquierdo o el lado derecho.

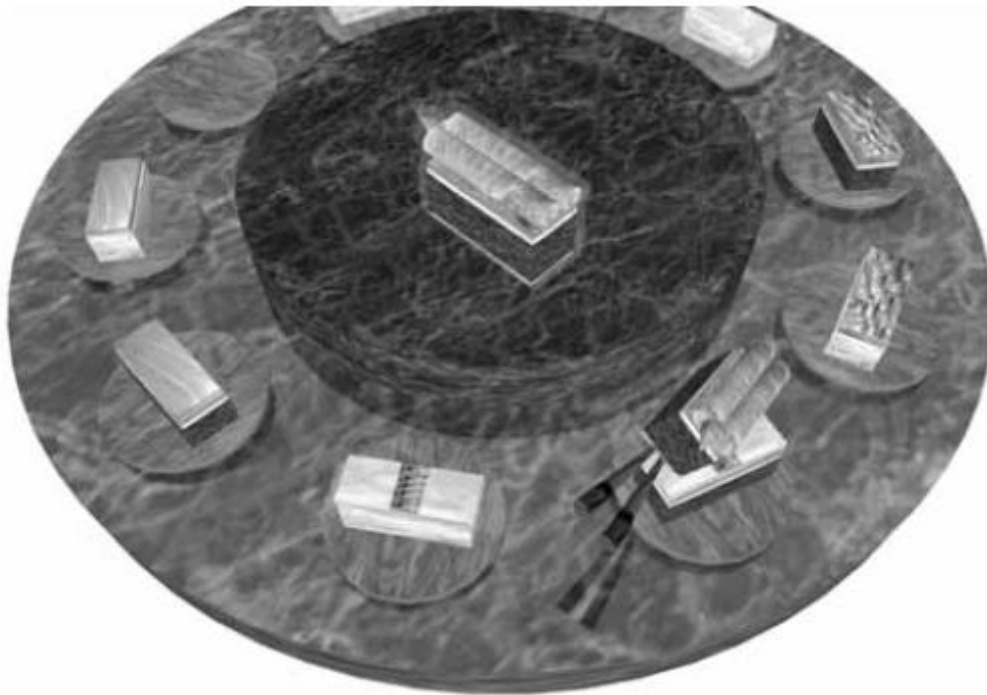


Figura 3.4. Kaiten-zushi virtual

Destacar que en el sistema se implementaron una serie de componentes auditivos, visuales y hápticos para ayudar a los pacientes a realizar los ensayos.

Los componentes auditivos son;

- Emitir un sonido por el altavoz correspondiente dependiendo de si el objetivo al que queremos que el paciente preste atención está en el lado izquierdo o en el derecho.
- Emitir un sonido característico que ayuda al paciente a identificar cuando se está acercando al objetivo y cuando se está alejando.

Los componentes visuales son:

- Método de *Eye patching*.
- Estimulación optocinética.

Los componentes hápticos son:

- El sistema guía al usuario al objetivo cuando está relativamente cerca de él.
- Invertir el eje lateral del dispositivo de interacción.

Los resultados del estudio aportan que mediante el uso de varios dispositivos, el sistema propuesto proporciona una experiencia de inmersión superior, permitiendo un diagnóstico más profundo del paciente.

El tercer estudio se realizó en 2006. [40] El objetivo principal de este estudio fue llevar a cabo en un entorno 3D las pruebas convencionales que se realizan en lápiz y papel.

El sistema utilizado en el estudio es el mismo que en el experimento anterior.

Las pruebas que se llevaron al entorno virtual fueron la bisección de líneas, el test dibuja y copia y el test de cancelación. La configuración es la misma para todas las

pruebas: aparece un papel sobre la mesa y el dispositivo háptico se utiliza para controlar el lápiz. El dispositivo genera una fricción dinámica cuando el lápiz toca el papel para facilitar el dibujo. El paciente tiene que tocar la mesa virtual para validar su elección y pasar a la siguiente tarea. Los ensayos se barajan pero el orden se registra para el análisis de los resultados.

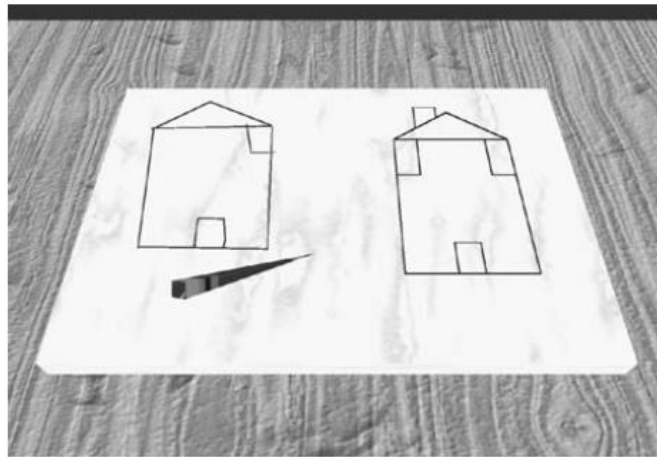


Figura 3.5. Test dibuja y copia virtual

Destacar que en el sistema se implementaron una serie de componentes auditivos, visuales y hápticos para ayudar a los pacientes a realizar las pruebas, explicados en el experimento anterior.

El estudio muestra que el sistema aporta una gran cantidad de información de los pacientes ya que permite registrar toda la interacción (posiciones de la mano, fuerza y estado del Phantom), el seguimiento de la mirada, el estado de los objetos virtuales con una marca de tiempo para reproducir las pruebas y permitir visualizar los comportamientos de los pacientes las veces que sean necesarias.

El cuarto estudio [41] se realizó en 2007 con ocho pacientes con accidente cerebrovascular y daño cerebral en el hemisferio derecho con una edad media de 54 años.

El sistema utilizado para realizar el estudio fue un banco de trabajo semi-inmersivo basado en un ordenador, unas gafas estereoscópicas y un dispositivo háptico Phantom Desktop™ de SensAble Technologies.

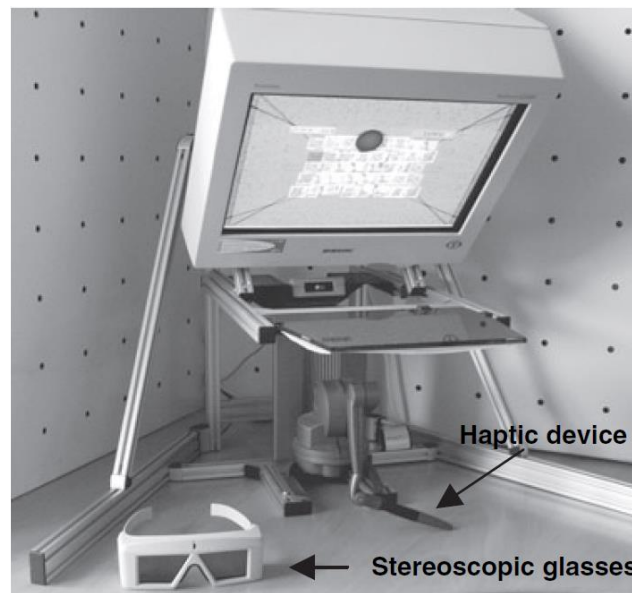


Figura 3.6. Sistema semi-inmersivo

El procedimiento fue el siguiente: los sujetos realizaron pruebas de evaluación convencionales de la NEU en papel y lápiz y de forma informatizada:

En las pruebas en papel, los sujetos las realizaron sentados en una mesa, donde se les iba presentando cada test, primero un test de cancelación y después el test de *baking tray task*. Los sujetos se debían situar en frente del test alineando la mitad de la hoja del test con su plano mediosagital. No se les permite mover el tablero o lámina test de ensayo durante la sesión.

En las pruebas informatizadas, los sujetos se debían colocar en frente de la pantalla del ordenador alineando la mitad de la pantalla con su plano mediosagital, a continuación, los pacientes fueron instruidos en el manejo del dispositivo háptico. El test de cancelación consistía en marcar todas las apariciones del número uno (1) entre un grupo de numero colocados en el espacio en forma de distracción (ver Figura 3.7.). Según los pacientes pulsaban sobre cada número, los números iban cambiando de color, de verde a amarillo. Para concluir el test los pacientes tenían que pulsar el número cero sombreado con el color rojo ubicado en el extremo inferior derecho de la pantalla.

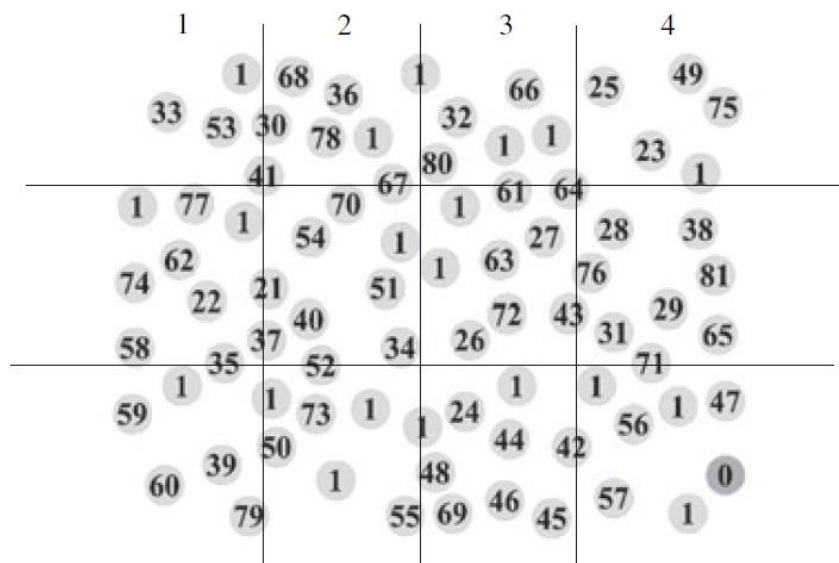


Figura 3.7. Test de cancelación virtual

De la prueba informatizada se registró la siguiente información: el número de unos marcados por el paciente en la prueba, el número de unos olvidados por el paciente, el patrón de búsqueda que seguía, la columna por donde había empezado a marcar, el número de veces que pulsaba cada número y las coordenadas (x,y,z) que iba registrando el dispositivo háptico, dando en todo momento la posición de la mano, el tiempo que estaba en cada posición y la trayectoria seguida.

Los resultados obtenidos muestran que la tecnología empleada es la adecuada para la evaluación en una exploración visualmente guiada y manual del espacio y que puede proporcionar un análisis cuantitativo a la hora de detectar pequeñas variaciones en el rendimiento de búsqueda, que las pruebas en lápiz y papel estándar no fueron capaces de detectar.

El quinto estudio [42] se llevó a cabo en 2007, fue realizado por nueve pacientes, de los cuales, dos de ellos padecían negligencia visual, seis eran pacientes sanos y el último padecía ictus sin negligencia. Estos pacientes no presentaban ningún tipo de lesión visual. El entorno virtual inmersivo consistía en una habitación en la que los objetivos eran bolas virtuales con un radio de 1,5 cm y que aparecían en diferentes lugares y alturas de la habitación.

El sistema con el que se llevó a cabo el estudio se denomina VRROOM (*Virtual Reality and Robotics Optical Operations Machine*) que consistía en un sistema de realidad aumentada (PARIS), un sensor de tracking Flock of birds de Ascension Technology unido a las gafas estereoscópicas Crystal Eyes de StereoGraphics Inc. Los sujetos se sentaron en una silla colocada delante del sistema VRROOM, sosteniendo un botón de respuesta en su brazo derecho y apoyando la cabeza en un reposa barbillas para mantener fija la posición. La habitación estaba con la luz apagada.

El procedimiento fue el siguiente:

En el experimento había 105 objetivos o blancos opcionales distribuidos en una rejilla 7x5x3, en los cuales, podían aparecer una bola. Los objetivos se eligen de tal manera

que se muestren a la derecha o a la izquierda de la línea que divide el cuerpo en dos. También pueden aparecer por encima, por debajo y al nivel de los ojos, así como, cerca y lejos en el espacio. En cada ensayo sólo aparece una bola en un objetivo elegido al azar. Los pacientes cuando detectan la bola tienen que presionar el botón lo más rápido posible. Cada ensayo comienza con la aparición de una cruz amarilla centrada en el centro escena 3D durante un intervalo de tiempo que variaba de 0,5 a 1 s, los pacientes deben alinearse con su plano mediosagital y esta cruz. Después de esto, una bola aparece de forma simultánea a la desaparición de la cruz amarilla, y permanecía visible hasta que el paciente pulse el botón o transcurridos 3 segundos. La siguiente prueba comienza después de un intervalo de 1,5 s, en los cuales no hay objetos virtuales en la escena (ni la cruz amarilla ni la bola). Para evitar confusión en las respuestas y que los pacientes pulsaran el botón de forma anticipada, varios ensayos pedían al paciente que pulsaran el botón sin que apareciese ninguna bola en la escena para pasar de un ensayo al siguiente.

El objetivo principal de este estudio fue probar una herramienta de evaluación relacionada con la negligencia visual en múltiples dimensiones espaciales en un entorno virtual. La herramienta de evaluación propuesta tiene la intención de proporcionar una descripción completa de los déficits visuales asociados con la negligencia en el espacio tridimensional, donde las asimetrías en el comportamiento de los distintos pacientes pueden ser cuantificadas por el nivel de detección de las bolas y el tiempo en detectarlas. Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que la negligencia puede exhibir sesgo espacial en más de una dimensión simultáneamente. Este enfoque puede resultar mucho más preciso y sensible para el diagnóstico que los tests en papel. Y esta capacidad de cuantificar y evaluar la negligencia visual con más precisión en las tres dimensiones puede ayudar en la planificación del tratamiento, en los protocolos de intervención para evaluar el grado de negligencia, en el nivel de progreso del paciente en la rehabilitación y en identificar los puntos donde las pacientes necesitan enfocar su entrenamiento.



Figura 3.8. Sistema VRROOM

El sexto estudio [43] realizado en 2008 y muy estrechamente relacionado con el anterior, ya que es una continuación del mismo. El procedimiento es prácticamente similar. El estudio fue realizado por tres grupos de sujetos, siete pacientes con accidente cerebrovascular del hemisferio derecho con negligencia espacial, nueve pacientes con

accidente cerebrovascular del hemisferio derecho que no muestran signos de negligencia espacial, y nueve adultos sanos. Estos pacientes no presentaban ningún tipo de lesión visual.

Tanto el entorno virtual como el sistema son similares y están definidos en el trabajo anterior.

Antes del comienzo de la prueba, los sujetos completaron seis pruebas convencionales en lápiz y papel. Estas pruebas incluyeron un test de cancelación líneas, cancelación de letras, cancelación estrellas, copia de figuras, bisección línea, y dibujo representacional. La puntuación total de estas seis pruebas es 146 con un valor de corte de 129.

El resto del procedimiento es el descrito en el trabajo anterior.

Los resultados obtenidos ratifican la sensibilidad del sistema tanto para la evaluación de la negligencia en un espacio tridimensional como en su posterior seguimiento en su proceso de rehabilitación. Debido a que los resultados demostraron diferencias en el rendimiento del grupo con negligencia en comparación con los otros dos grupos de control. Por otro lado, las pruebas convencionales solo detectaron tres de los siete pacientes con negligencia, mientras que el sistema los detectó en su totalidad. En lo referente al seguimiento del estado de los pacientes, los resultados de la prueba de seguimiento con dos pacientes demostraron ampliamente una mayor sensibilidad de la aplicación frente a las técnicas convencionales. El sistema a estudio muestra que ambos pacientes demostraron una reducción significativa del sesgo espacial a lo largo del tratamiento, exhibiendo una disminución en el tiempo de reacción, así como, un aumento en la tasa de detección.

El séptimo estudio [44] fue realizado en 2007 con cuatro pacientes. Estos pacientes no presentaban ningún tipo de lesión visual pero si presentaban distintos tipos de negligencia. El estudio consistió en introducir a los pacientes en dos entornos virtuales inmersivos para que interactuaran con los mismos. El primer entorno virtual representaba una cocina dentro de la cual podían manipular objetos y navegar por ella. El segundo escenario era un entorno abierto que simulaba un jardín de una ciudad y los sujetos podían explorar libremente. Los dispositivos utilizados para llevar a cabo el estudio fueron unas Olympus Eye-Trek FMD-700C para explorar de manera inmersiva el entorno, un joystick para controlar los desplazamientos en el eje horizontal y la rotación era controlada a través del giro de cabeza del paciente, captando estos giros con un sensor giroscópico Inter-Trax Intersense.

Con el fin de evaluar las habilidades de percepción y de exploración de los pacientes, realizaron dos experiencias virtuales cada una en una sesión distinta.

La primera sesión se compone de tres fases:

En primer lugar, los pacientes observan el primer entorno virtual que es la cocina durante 1 minuto de forma inmersiva y se les pide que describan todos los objetos presentes (18 objetos situados de forma equilibrada en el escenario). Después de ese tiempo el entorno virtual desaparece y vuelve a aparecer modificado, en el cual faltan 12 objetos del escenario anterior. Los objetos que faltan han sido retirados de forma equilibrada del escenario. A continuación se les pide a los pacientes que vuelvan a describir de nuevo la escena y que indiquen si el segundo escenario podría ser considerador igual al anterior. En caso de respuesta afirmativa, se les pregunta si perciben la falta de objetos en la escena actual respecto a la escena anterior. A todos los

pacientes que detectaron la ausencia de algún objeto se les dio la posibilidad de elegir en una biblioteca de objetos todos aquellos objetos que faltaban. La biblioteca de objetos se les mostraba en la parte central inferior de la pantalla y contenía una serie de objetos entre los cuales se encontraban los objetos desaparecidos y otros más añadidos. Después de identificar los objetos, se les invitó a posicionarlos en la cocina virtual de acuerdo a su posición original. Cuando los pacientes acababan de reconstruir la escena, se les permitió explorar el entorno de forma inmersiva para comprobar la corrección de la misma. El principal objetivo de esta experiencia virtual es evaluar la capacidad de los pacientes para memorizar, reconocer y reemplazar los objetos dentro del campo de visión.

La segunda sesión consistía en explorar el segundo escenario virtual correspondiente con un jardín, de forma inmersiva. También se les pidió describir su experiencia dentro del entorno. La peculiaridad de este escenario es que contiene objetos consistentes o creíbles con el espacio recreado como puede ser un árbol y objetos inconsistentes como puede ser una cama. Los principales objetivos de esta sesión son la evaluación de las estrategias de exploración de los pacientes y el análisis de su descripción respecto al entorno que los rodea. Los objetos inconsistentes son colocados con el fin de evitar que las descripciones de los pacientes puedan hacerse de acuerdo con las proyecciones mentales que tienen sobre los objetos que suelen aparecer en un jardín.

Este estudio concluye que la evaluación basada en la realidad virtual proporciona evidencias de la posible presencia de la enfermedad inducida en la realización de las tareas que realizamos de forma cotidiana y que podrían ser difíciles de detectar en la evaluación llevada a cabo en lápiz y papel y que por lo tanto, genera un valor añadido a la hora de evaluar la enfermedad.



Figura 3.9. Jardín virtual con varios objetos incoherentes

El octavo estudio [45] se realizó en 2008 con 18 pacientes, los cuales habían sufrido un accidente cerebrovascular isquémico en el hemisferio derecho en los últimos seis meses.

El sistema para llevar a cabo el estudio se denomina: Virtual Reality Lateralized Attention Test (VRLAT) y en español test de atención lateralizada en realidad virtual. Este sistema lo forma un ordenador, una pantalla plana de 27,5 pulgadas y un joystick Logitech Attack 3. El software en el que es ejecutado es sobre motor Unreal Engine 2. El proceso es el siguiente, el sistema solicita a los participantes que vayan nombrando todos los objetos con los que se encuentra a lo largo de la ruta o del paseo virtual, el entorno virtual es un camino sin ramificaciones, el paciente tiene que evitar chocar con los objetos virtuales. Los participantes pueden moverse ellos mismos por el camino virtual usando el joystick, o pasivamente siendo el examinador el que maneja los controles a una velocidad lenta y constante. El software indica las colisiones con los objetos virtuales, proporcionando una retroalimentación auditiva y visual que corresponde con el progreso realizado en el paseo por el paciente. El sistema tiene tres niveles que contienen una serie de objetos objetivo, estos objetos están repartidos de forma equitativa en cada lado de la ruta, pueden ser árboles de colores o estatuas de animales. También tenemos una serie de objetos que podemos encontrar comúnmente en un entorno al aire libre como arbustos, fuentes o bancos que sirven como distracciones para el paciente. También se incluye en algunos niveles señales auditivas y objetos móviles como el vuelo de una cometa. Las direcciones de los movimientos de las distracciones visuales están equilibradas en todos los niveles. Cada nivel se completa dos veces por cada sujeto, una vez yendo y la otra volviendo, por lo que todos los objetos objetivos aparecían una vez a la izquierda y la otra a la derecha. Los participantes completaron también una serie de test convencionales como test de cancelación de campanas y de letras o bisección de líneas.



Figura 3.10. Paseo virtual

Los resultados del estudio muestran que el sistema detecta la NEU en casi el doble del número de pacientes que mostraron NEU en las pruebas tradicionales con lápiz y papel y sugiere que el sistema es útil en la identificación de los pacientes exentos de la enfermedad sobre las pruebas tradicionales en lápiz y papel, pero que pueden experimentar dificultades en la vida real.

El noveno estudio [46] se realizó en 2009 con treinta y un pacientes con lesiones cerebrales. Igualmente que en un estudio anteriormente descrito, el objetivo principal es llevar a un entorno 3D las pruebas convencionales que se realizan con lápiz y papel. Los resultados del sistema fueron validados con los resultados obtenidos en las pruebas en lápiz y papel.

El sistema utilizado se denomina VR-DiSTRO y está formado por un ordenador de escritorio (EMS Shuttle P4 3GHz; EMS,Umea , Sweden) con una tarjeta gráfica (Nvidia Quadro FX, Santa Clara, CA, EE.UU.), auriculares estéreo, un dispositivo háptico (Phantom Omni; SensAble Technologies, Woburn MA, EE.UU.), un teclado numérico, un monitor CRT de 19" y unas gafas de obturación para la visión estereoscópica (Crystal Eyes; Stereographics / RealD, Beverly Hills, CA, EE.UU.).

Los pacientes realizaron las pruebas virtuales en una mesa con la pantalla del ordenador centrada en frente de ellos, y la evaluación se llevó a cabo en una habitación tranquila y sin distracciones. La distancia de los pacientes a la pantalla del ordenador fue de 400 mm, lo que produce un campo visual de 60°. Los pacientes fueron instruidos en el manejo del sistema háptico y no tenían límites de tiempo para realizar cualquier prueba.

Las pruebas virtuales fueron:

- Baking Tray Task: Este test se realizó con 16 cubos de madera de 20x20x20 mm. Al comenzar el test, los cubos se colocaban en la columna derecha de la bandeja con unas dimensiones de 440x340 mm y se pidió al paciente que los ordenara siguiendo un patrón uniforme. Los cubos se visualizaban en la pantalla y se movían con el Phantom a través de la bandeja, cuando el paciente tocaba un cubo percibía la retroalimentación de cargar con un peso imaginado 50 g.
- Bisección de líneas: En este test se presentaban tres líneas negras horizontales de 20 cm. Los pacientes tenían que indicar con el Phantom el punto medio de cada línea.
- Cancelación de estrellas: En este test, los pacientes tenían que marcar con el Phantom todas las estrellas pequeñas, entre ciento treinta y un objetos. Las estrellas seleccionadas se marcaban con un anillo.
- Extinción visual: En este test, los estímulos se presentaban de forma aleatoria en el área visual izquierda, derecha y en ambos lados, el número total de estímulos presentados al paciente eran de ocho a la derecha, ocho a la izquierda y ocho en ambos lados. Los estímulos se presentaban en una pantalla azul como anillos blancos, cada estímulo se mostraba durante 300 ms y a intervalos de cinco segundos. Los pacientes tenían que dirigir los ojos al centro de la pantalla y se

situaban a una distancia de 380 mm de la pantalla, con un campo visual de 60°. El paciente marcaba la detección de un estímulo pulsando la tecla izquierda o derecha del teclado, dependiendo del lado del estímulo.

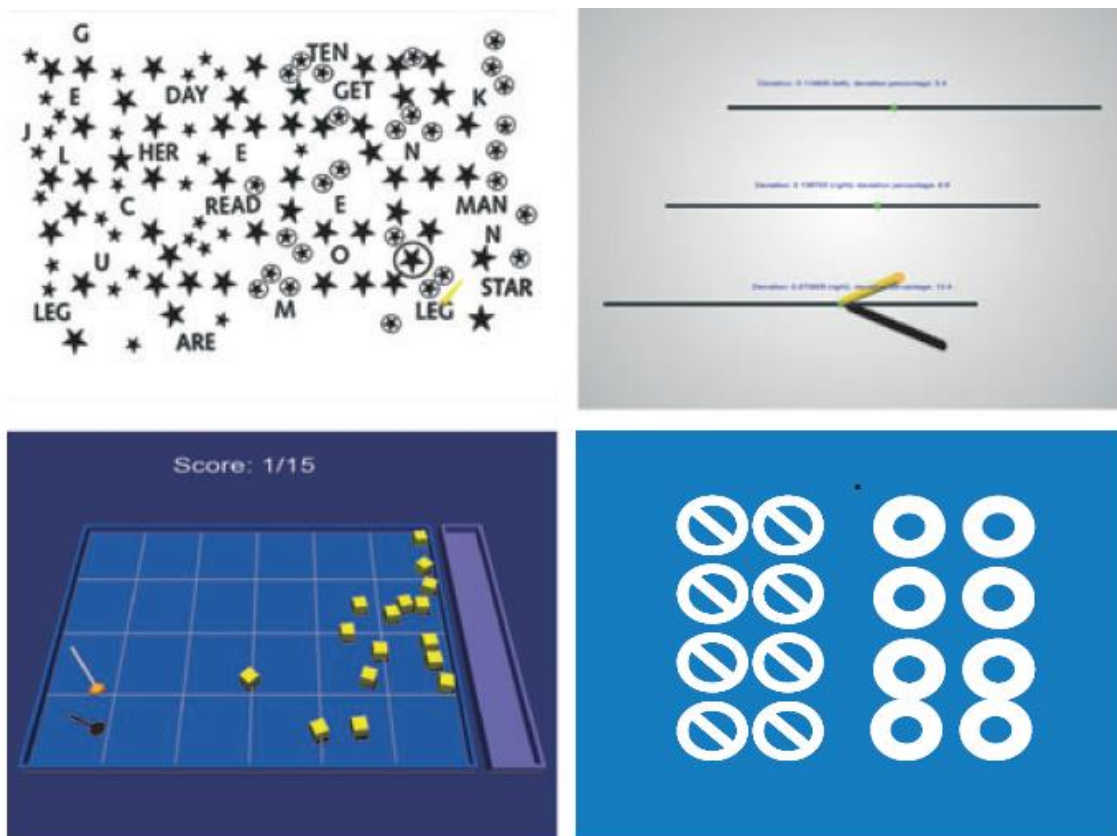


Figura 3.11. Tests convencionales en un entorno virtual (test de cancelación de estrellas, bisección de líneas, Baking Tray Task y extinción visual por orden de aparición)

Los resultados obtenidos muestran que el sistema identifica la NEU rápidamente y con gran precisión en diversos pacientes con lesiones cerebrales.

El undécimo y último estudio de esta sección, [47] se realizó en 2010 con dos pacientes con negligencia espacial unilateral izquierda.

El sistema con el que se llevó a cabo el experimento fue una cámara CCD (25.000 píxeles), un casco Head Mount Display (HMD), dos cámaras de video digital y un ordenador. La resolución de casco HMD es 640×480 (RGB) y consta de dos paneles de cristal líquido TFT. El movimiento de la cabeza del paciente es grabado con una cámara de vídeo digital.

El objetivo principal es identificar el grado en el que la NEU se ve alterada cuando las coordenadas del campo visual del paciente se manejan a través del HMD como coordenadas egocéntricas o bien centradas en el objeto. Para realizar este estudio necesitaremos utilizar un sistema combinado (una cámara CCD, un HMD, y un ordenador) con el fin de mostrar una reducción o ampliación de la imagen real, mientras

que el HMD muestra de distintas formas las pruebas al paciente. Las formas en las que se mostraron las pruebas son:

- a) Test 1: Muestra la hoja del test de forma que las coordenadas del campo visual del paciente se manejan a través del HMD como coordenadas centradas en el objeto.
- b) Test 2: Muestra la hoja del test de forma que las coordenadas del campo visual del paciente se manejan a través del HMD como coordenadas egocéntricas.
- c) Test 3: Muestra la imagen un setenta y cinco por ciento reducida de forma que las coordenadas del campo visual del paciente se manejan a través del HMD como coordenadas centradas en el objeto.
- d) Test 4: Muestra la imagen un setenta y cinco por ciento reducida de forma que las coordenadas del campo visual del paciente se manejan a través del HMD como coordenadas egocéntricas.

En los dos últimos tests se quiere comprobar el efecto de mostrar varias flechas que parpadean a la izquierda de la pantalla con el fin de facilitar la atención del paciente al área izquierda descuidada. Estas flechas se usaron como estímulo visual en movimiento.

- e) Test 5: Se repitió el Test 3 aplicando el efecto anteriormente descrito
- f) Test 6: Se repitió el Test 4 aplicando el efecto anteriormente descrito

El proceso fue el siguiente: los pacientes se sentaron en una silla de respaldo recto, la hoja del test se colocó sobre un escritorio y el plano mediosagital del cuerpo del paciente debía estar alineada con el centro de la hoja. Todas las tareas se llevaron a cabo sin ningún tipo de restricción en cuanto al tiempo. Las pruebas de evaluación de NEU que realizaron los pacientes fueron las de cancelación de líneas y de estrellas del BIT [11]. Los sujetos realizaron la prueba clínica común y la prueba virtual. Los participantes realizaron en primer lugar la prueba clínica y luego la prueba virtual con las HMD. En la prueba virtual, la forma en la que los tests, anteriormente descritos, se les iban mostrando a los sujetos fue aleatoria.

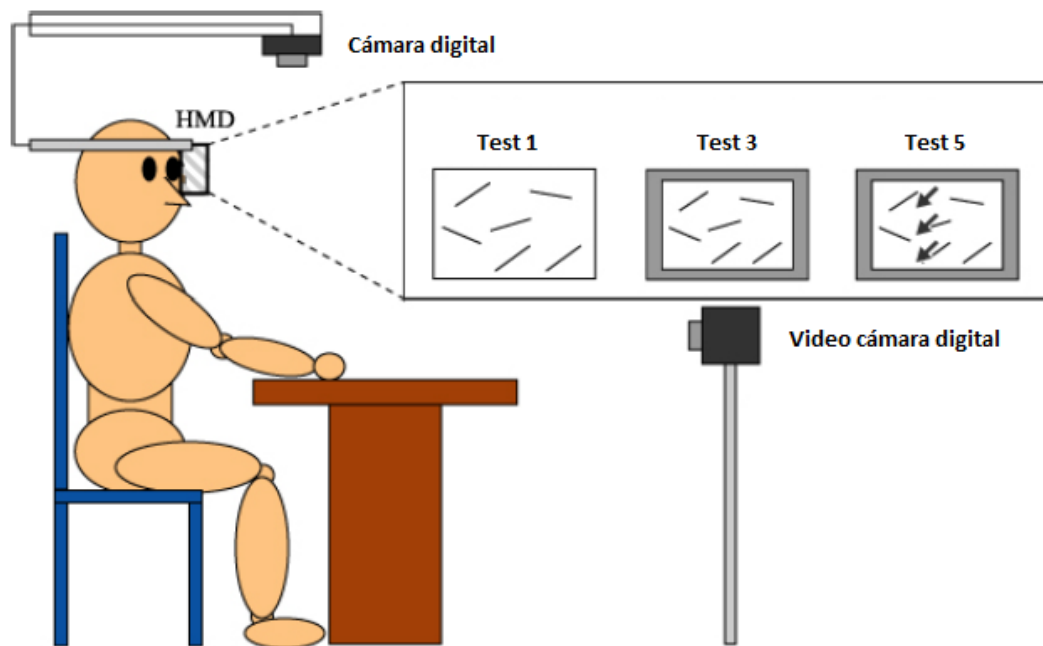


Figura 3.12. Sistema virtual

Los resultados del estudio muestran que la evaluación de la NEU utilizando el sistema HMD puede ayudar y clarificar determinadas situaciones que no se pueden observar fácilmente en la evaluación clínica.

3.1.2 Rehabilitación de la negligencia

A continuación se han encontrado tres estudios realizados en los años 2003, [48] 2007 [49] y 2012 [50]. La idea de estos proyectos es similar ya que consisten en que el paciente cruce una serie de calles de forma segura en un entorno virtual que simula ser una ciudad, con una serie de parámetros como el tráfico, velocidad de los coches, etc. modificables por los terapeutas. Estos estudios los llevaron a cabo con un número de pacientes entre 12 y 50, en varios estudios los participantes eran solo pacientes con negligencia y en otros los pacientes eran una mezcla entre sujetos sanos y sujetos con la enfermedad.

Los equipos o plataformas utilizadas en los tres experimentos dependen del tipo de aplicación, de las cuales una es inmersiva y dos son no inmersivas. La aplicación inmersiva se basa en un ordenador, un Head Mount Display (HMD) y un sensor de seguimiento de los movimientos de la cabeza con tres grados de libertad (DOF). Dentro de las dos no inmersivas tenemos dos sistemas distintos: uno que sería un ordenador y un teclado simplemente y otro sería un ordenador, un joystick, una televisión de 42" y una cámara *TrackIR™*.

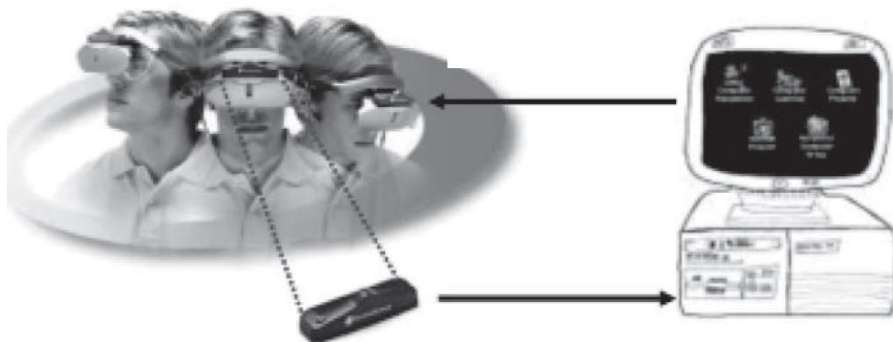


Figura 3.13. Sistema virtual con HMD



Figura 3.14. Sistema virtual no-inmersivo

Los entornos virtuales donde los pacientes fueron introducidos representan espacios reales, incluyendo calles de Valencia, Korea o Israel.

El procedimiento del experimento de 2003 fue el siguiente: el estudio tiene cuatro etapas, las cuales comenzaban proporcionando ayudas al paciente a la hora de cruzar la calle de forma segura y estas ayudas se iban reduciendo paulatinamente según iba avanzando el paciente por las etapas. En la primera etapa el avatar nada más empezar se encuentra delante de un cruce en una situación controlada, es decir, los sujetos estaban obligados a mirar a la izquierda, luego a la derecha y, por último, a la izquierda nuevamente o de lo contrario el sistema no les permitía cruzar la calle. Los vehículos se acercaban despacio, y avisaban con un estímulo auditivo (accionando el claxon) cuando se acercaban al cruce. En la segunda etapa, los participantes no tenían la obligación de mirar a ambos lados de la calzada para comenzar a cruzarla. Los vehículos se acercaban a una velocidad reducida y el vehículo que se aproximaba solamente tocaba el claxon si el sujeto comienza a cruzar la calle demasiado pronto (no le da tiempo a cruzar sin ser atropellado). En la tercera etapa, la velocidad de los vehículos se veía multiplicada por dos. Y finalmente, en la cuarta etapa, la dirección desde la que los vehículos se acercaban se producía de forma aleatoria. La tarea del sujeto consistía en seleccionar el momento adecuado para cruzar la calle cuando, en su opinión, era seguro hacerlo.

Si el sujeto lograba cruzar la calle con seguridad, iba progresando de forma automática al siguiente nivel de dificultad. Si por el contrario, decide cruzar cuando es peligroso hacerlo, se produce un accidente y se escucha un ruido de frenos chirriando, y una señal de alerta en la pantalla con la etiqueta 'Accident'. En este caso, el sujeto recibe una explicación por el terapeuta sobre lo que había ocurrido.

Los datos que fueron registrándose en el estudio fueron la frecuencia, el orden y la dirección en la que los sujetos buscaban vehículos, el número de ensayos, así como el tiempo total que se tardó en completar con éxito cada nivel y el nivel más alto alcanzado.

con éxito. También se evaluó antes y después del entrenamiento virtual la capacidad de los sujetos para cruzar una calle en un entorno real de forma segura.



Figura 3.15. Paciente cruzando la calle

El procedimiento del experimento de 2007 fue el siguiente: el sistema tiene tres fases principales: la fase de recogida de información del paciente, la fase de calibración y la fase de entrenamiento. En la primera fase se introduce la información del paciente en el sistema como su nombre, edad, tipo de negligencia (derecha o izquierda), y los parámetros del entrenamiento a realizar como el nivel y el número de ensayos a realizar. En la fase de calibración se presenta un avatar en el centro de la pantalla con un fondo negro. El paciente recibe instrucciones para localizar y situarse enfrente de la línea mediosagital del avatar, alineándose con la suya propia. En la fase de entrenamiento, el paciente tiene que detectar e identificar los vehículos virtuales que van apareciendo y acercándose por la parte derecha y la parte izquierda a un avatar virtual situado en frente del paciente, cuando el paciente identifica un vehículo, presiona el botón del ratón. Cuando el paciente no detecta el coche acercarse y este se ha acercado dos tercios partes de distancia entre el punto de partida del vehículo y el avatar, el vehículo enciende los faros (estímulo visual) para advertir al paciente que el coche está cerca del avatar. Si después de esta señal el paciente sigue sin detectar al vehículo y este se ha acercado a un tercio de distancia entre el punto de partida del vehículo y el avatar, el vehículo produce un sonido de alarma (estímulo auditivo) para advertir al paciente que el coche está aún más cerca del avatar.



Figura 3.16. Estímulos visuales y auditivos antes de un posible atropello

La dificultad del sistema se controla mediante dos componentes: el nivel y la etapa. El nivel es controlado por la velocidad de los vehículos que pasan. Y la etapa es controlada por la distancia entre el avatar y el sujeto. Si el sujeto detecta el coche tres veces seguidas evitando un posible accidente, la dificultad se incrementa y se sube de nivel, cuando un paciente sube cuatro niveles, la dificultad se incrementa subiendo una etapa. Si por otro lado, el paciente provoca un accidente baja de nivel o de etapa.

El procedimiento del experimento de 2012 fue el siguiente: los participantes tenían que realizar dos veces el mismo ejercicio en el entorno virtual, que consistía en: partiendo de un punto de origen llegar a un punto final (un supermercado) y luego volver. En cada recorrido, los participantes se vieron obligados a cruzar cuatro calles de doble sentido (dos veces en cada dirección), evitando los coches que podrían aparecer por ambos sentidos. A lo largo del experimento se registró el tiempo en llevar a cabo la tarea y el número de accidentes que ocurrieron. La tarea se consideró incompleta si el número de accidentes era mayor que cuatro. Además de la sesión virtual los pacientes realizaron una serie de pruebas para evaluar sus habilidades cognitivas.



Figura 3.17. Representación virtual de las calles de Valencia

Los estudios muestran que los resultados obtenidos con pacientes sanos y con pacientes que padecen NEU son coherentes ya que el número de accidentes es mucho más elevado en el segundo caso, lo que dota al sistema de un gran realismo. Este mismo realismo, es el que se le quiere dar, ya que sirve como un entrenamiento real de la vida cotidiana como cruzar una calle, pero sin las consecuencias nefastas en caso de no cruzar con cuidado. También el último estudio mostró correlaciones entre los resultados del estudio utilizando un entorno virtual con las escalas cognitivas normales, lo que sugiere que los sistemas de realidad virtual pueden evidenciar alteraciones en las habilidades cognitivas, como la negligencia. Todos los estudios concluyen que el sistema virtual es propicio para la formación de pacientes con NEU y que tuvo un efecto positivo en el entrenamiento de los pacientes.

El cuarto estudio de la sección [51] se realizó en 2004 y se llevó a cabo con cincuenta y dos pacientes con NEU. El sistema empleado en el estudio es un ordenador, unas Head Mount Display (HMD, Eye-Trek FMD-250W) y un sensor de posición con tres grados de libertad (Intertrax2), para controlar el movimiento de la cabeza del paciente.

El entorno virtual está formado por un espacio en forma de 'Y' y una bola (ver figura 3.19.). El estudio tiene dos tareas: una tarea de calibración y una tarea principal. En la tarea de calibración se mide la línea media visual del paciente. Este proceso se repite varias veces para conseguir un correcto calibrado. En la tarea principal, el sujeto debe detectar y perseguir con la mirada una bola que se mueve por el escenario.

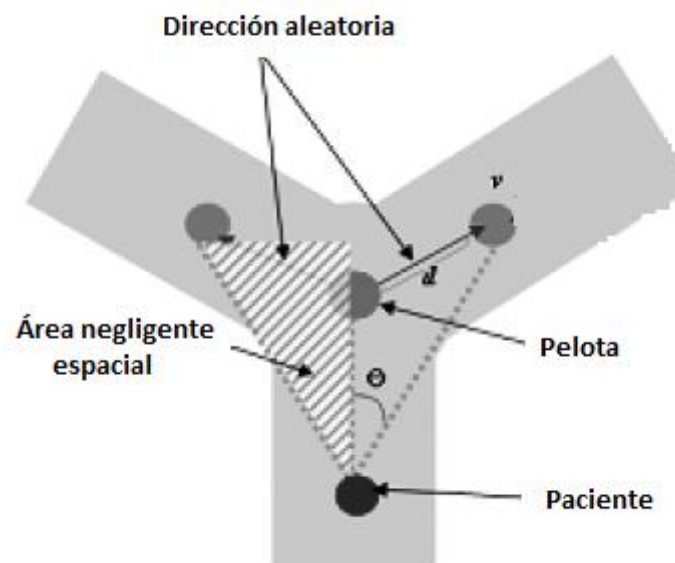


Figura 3.18. Escenario virtual de entrenamiento

El sistema induce al paciente a seguir la bola con señales visuales y auditivas, llamando su atención. Son de tres tipos:

- La señal de menor intensidad es auditiva y consiste en reproducir el sonido de la pelota según se va moviéndose por el escenario.
- La señal de intensidad media es visual y consiste mostrar la dirección de la bola con una flecha.

- La señal de mayor intensidad es visual y consiste en llevar la bola al campo visual del paciente.

El grado de dificultad del sistema se ajusta al progreso del paciente.

El quinto estudio [52] se realizó en 2005 con seis pacientes con negligencia visual izquierda después de un accidente cerebrovascular en el hemisferio derecho.

El equipo para llevar a cabo el estudio, consiste en un monitor colocado en la parte superior de una caja hueca alcanzable por los pacientes. La pantalla del ordenador se encuentra a unos 50 cm de los ojos de los pacientes. Para impedir que los pacientes visualicen su brazo y el interior de la caja, el sistema tiene una partición negra que ocluye la extremidad utilizada para alcanzar los distintos objetos.

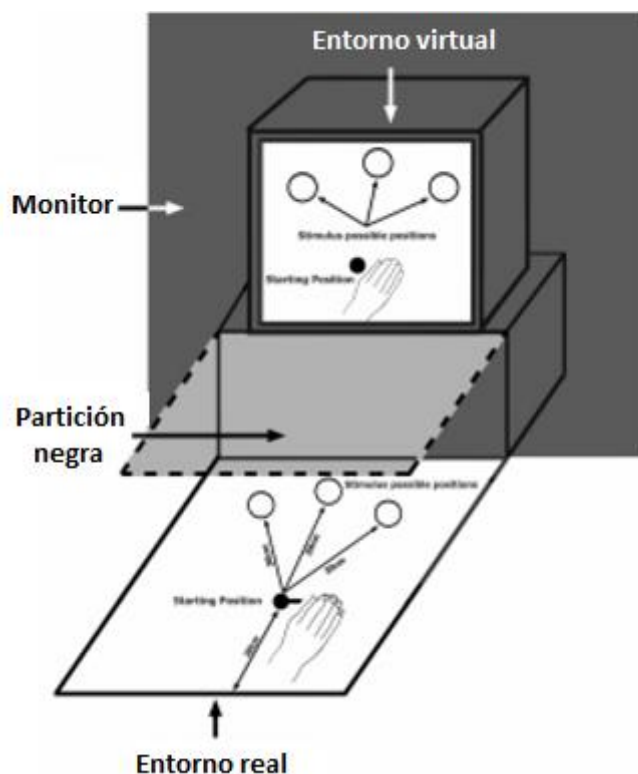


Figura 3.19. Esquema de la configuración del sistema

Por otro lado, tenemos un guante de datos (Virtual Realities: Fifth Dimension Technologies, Irvine, CA) que permite a los sujetos controlar la mano virtual que se mueve en tiempo real dentro de un entorno generado por ordenador. Para registrar los distintos movimientos de los pacientes se utilizó un sensor magnético colocado en las muñecas (Flock of Birds, Ascension Technology).

Los objetivos que se eligieron para que los pacientes los cogiesen fueron un objeto real (una esfera de polietileno blanco de 8 cm de diámetro), situada sobre la mesa a una distancia de 20 cm delante del sujeto, y un objeto virtual representado en la pantalla del ordenador, que es una réplica exacta del objeto real.

El procedimiento fue el siguiente:

Cada sujeto se sienta en la mesa y desde el primero momento puede ver la esfera ya sea real o virtual. Las esferas reales y virtuales podrían estar situadas en el centro (plano mediosagital), a 30° hacia la izquierda o hacia la derecha de la línea media tomando como referencia el cuerpo del paciente. El experimento se llevó a cabo en tres sesiones en un mismo día, una por la mañana y dos por la tarde.

En la sesión uno los pacientes realizaron una tarea inicial de dos tipos en los dos entornos, real o virtual. Los tipos de las tareas son sensoriales y motoras. Un objeto (o su equivalente virtual), se presenta en una de las tres posiciones (central, mas 30° o menos 30° de la línea media). En los ejercicios de las tareas sensoriales se les pide a los pacientes que digan la ubicación en la que está el objeto (izquierda, derecha o centro). En las tareas motoras los pacientes tenían que extender la mano y agarrar el objeto. Cada participante realizó cuatro bloques, en cada bloque estaba presente una combinación de entorno real / virtual y tarea sensorial / motora.

En la sesión dos se les pidieron a los pacientes que alcanzaran el objeto real situado en una de las tres ubicaciones dentro del entorno real mientras se visualiza simultáneamente la representación virtual en tiempo real de la mano. Mientras el paciente mueve la mano hacia el objeto real, observaba la mano virtual en movimiento hacia el objeto virtual. Esta tarea consistió en dos tipos de prueba: pruebas coherentes en la que los objetos reales y virtuales ocupaban el mismo espacio y ensayos incoherentes en los que los objetos reales y virtuales ocupaban diferentes localizaciones espaciales.

En la sesión tres se realizó las tareas sensoriales de la sesión uno en el entorno virtual y real para ver el efecto que producía después de realizar la sesión dos.

Este estudio sugiere que las técnicas de realidad virtual pueden producir potencialmente mejoras duraderas del efecto de los tratamientos en pacientes con negligencia, aunque la duración exacta de la mejora requiere investigación.

El sexto estudio, [53] se realizó en 2010 con 24 pacientes que padecían NEU como consecuencia de un accidente cerebrovascular en el hemisferio derecho. El equipo para llevar a cabo el experimento fue un IREX system®, (Vivid group, Toronto, Canadá) que consta de un monitor, una cámara de vídeo y unos guantes de datos. La cámara de vídeo reconoce los movimientos y la posición del paciente y los transfiere al espacio virtual. Los guantes llevan las respuestas del paciente al entorno. Todos los pacientes realizaron el entrenamiento en una silla (ver Figura 3.21. imagen A).

Los pacientes se dividieron en dos grupos, uno que realizó la rehabilitación con técnicas convencionales como el escaneo visual, dibujo y copia, puzles, lectura y escritura, etc. y que denominaremos grupo de control y el otro grupo, que realizó la rehabilitación en un entorno virtual.

Los programas utilizados para la rehabilitación virtual fueron el "Bird and Ball" es un programa en el que el paciente toca distintas pelotas que van volando por el escenario y las convierte en pájaros (ver Figura 3.21. imagen B), el segundo programa "Coconut" en el que el paciente va cogiendo cocos que caen de un árbol mientras se mueve alrededor del mismo (ver Figura 3.21. imagen C) y el ultimo, "Container", en el que el paciente se mueve a través de una caja transportadora de un contenedor de forma invertida a la realidad (ver Figura 3.21. imagen D). Todos los pacientes (los dos grupos) realizaron tests convencionales de cancelación de estrellas, bisección de líneas, CBS y K-MBI

veinticuatro horas antes y después del tratamiento durante las tres semanas que duró para evaluar la evolución de la gravedad de la NEU.

Los resultados del estudio muestran que los cambios en los resultados de las pruebas de cancelación estrellas y CBS en el grupo de realidad virtual fueron significativamente más altos que los del grupo de control después del tratamiento y que los cambios en la resultados de las pruebas de bisección línea y K-MBI en el grupo realidad virtual no fueron estadísticamente significativos.



Figura 3.20. Juegos virtuales de entrenamiento

El séptimo y último estudio de esta sección, [54] se realizó en 2013. La plataforma fue probada en pacientes de 65 años con una negligencia crónica desde 2009. Los familiares de los pacientes informaron de las dificultades que tenían en las actividades de la vida cotidiana (como la lectura y la alimentación). El tratamiento duró cuatro semanas de forma intensiva, una hora cada día. Antes de iniciar el tratamiento los pacientes fueron sometidos a una extensa evaluación neuropsicológica, que confirmó la negligencia.

La plataforma es sencilla de implementar y su configuración es la siguiente. Una pantalla donde se proyecta el escenario virtual y, en la cual, los pacientes tienen que realizar los ejercicios, situados a una distancia de 1,5 m. Las puntuaciones de los ejercicios se registran en un ordenador. Los movimientos del paciente se capturan a través de una cámara Sony PS3 EyeToy (640 × 480 píxeles, 30 fotogramas por segundo). El paciente interactúa con el sistema utilizando sus manos, para detectar las colisiones entre los objetos y las manos del paciente, se mide el grado de solapamiento entre la mano del paciente y el objeto.

Se llevaron a cabo ejercicios relacionados con la rehabilitación cognitiva, que consiste en realizar un escaneo o búsqueda visual de diferentes objetivos que en este caso fueron objetos que se utilizan en la vida cotidiana, como latas en los estanterías de la cocina, que van apareciendo de forma aleatoria para mantener el nivel de atención. El nivel de dificultad de la tarea aumenta progresivamente debido a la disminución de señales visuales y auditivas que ayudaban a los sujetos. Los pacientes tenían que identificar a los objetos objetivos entre las distintas distracciones.

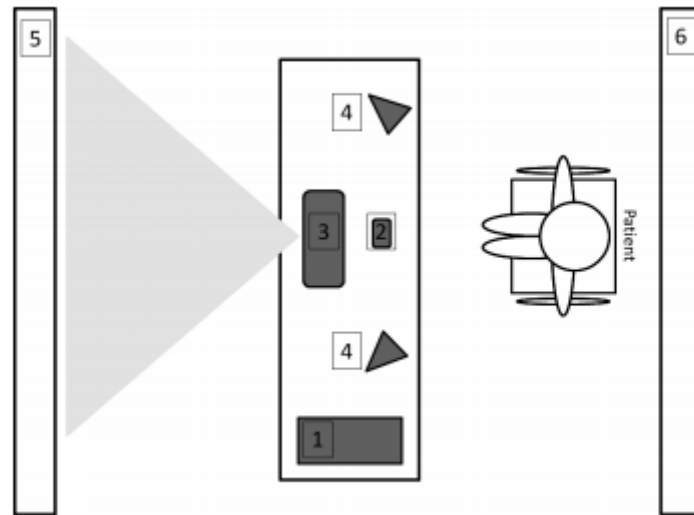


Figura 3.21. Elementos del sistema: 1) Ordenador, 2) Cámara Sony PS3 EyeToy, 3) Proyector, 4) Altavoces estéreo, 5) Superficie blanca para la proyección, y 6) Fondo blanco.

3.1.3 Estudios teóricos sobre la negligencia espacial unilateral

El único estudio [55] de esta sección, fue realizado en 2010 con 15 pacientes sanos de entre 23 y 38 años. El principal objetivo de este estudio es demostrar la siguiente hipótesis: los pacientes que sufren NEU experimentan una des-correlación sensomotora en el espacio contrario a la lesión. Por lo tanto, las experiencias sensomotoras de los pacientes en el espacio contrario a la lesión están perturbadas debido a la incapacidad de vincular la percepción con las distintas acciones. Para probar esta hipótesis se va a utilizar un entorno virtual ya que permite simular de forma adecuada los síntomas necesarios en el paciente, estudio que en un entorno real sería muy difícil de llevar a cabo.

Para llevar a cabo el experimento se utilizó un sistema denominado *Stringed Haptic Workbench* que permite conseguir que los participantes se encuentren en las condiciones óptimas mientras realizan el estudio. El sistema está formado por una aguja Fastrak equipada a una SPIDAR y de esta aguja sale un rayo virtual. También está compuesto por unas gafas estereoscópicas y unos receptores que sirven para el seguimiento de las distintas partes del cuerpo.

En el estudio se va a realizar una tarea sensomotora, que consiste en que los usuarios tienen que trazar una línea curva, que va apareciendo poco a poco en la parte superior de una superficie virtual (caja). Las líneas comienzan a aparecer en un extremo de la superficie y terminan en el extremo opuesto. Los usuarios tienen que terminar de trazar la línea antes de que desaparezca. Los pacientes sienten que la superficie de escritura es rígida, debido al sistema de retroalimentación háptica, y además, pueden ver de forma simultánea el trazo que están creando.

Se pueden introducir distintos grados de perturbaciones hápticas para que hacer la tarea sensomotora resulte difícil de completar. El grado de perturbaciones es creado al azar tanto en magnitud, tipo y duración. El sistema registra el trazo de las líneas, las posiciones y rotaciones de la cabeza y los hombros para evaluar posteriormente los efectos que la tarea tiene en la postura del usuario y la orientación del cuerpo.

Había cuatro escenarios diferentes en el experimento, dos de control y dos experimentales. En los escenarios de control, no hubo perturbaciones durante la tarea. En un escenario, la dirección de la línea iba de izquierda a derecha y en el otro de derecha a izquierda. En los escenarios experimentales, las direcciones eran las mismas, pero las perturbaciones se introdujeron en el hemisferio espacial derecho en el escenario (de izquierda a derecha) y en el hemisferio espacial izquierdo en el escenario (de derecha a izquierda). Las perturbaciones comienzan a partir de la línea media de la superficie de escritura y se van convirtiendo de forma gradual en perturbaciones más fuertes según la mano del sujeto progresaba hacia el borde de la superficie. Se usan los tres tipos de perturbaciones (horizontal, vertical y de fricción) simultáneamente para crear un entorno fuertemente incoherente.

El estudio apoya la hipótesis, ya que los sesgos espaciales en la negligencia son el resultado de la evasión de las perturbaciones en las experiencias sensomotoras en el hemisferio espacial contrario a la lesión.

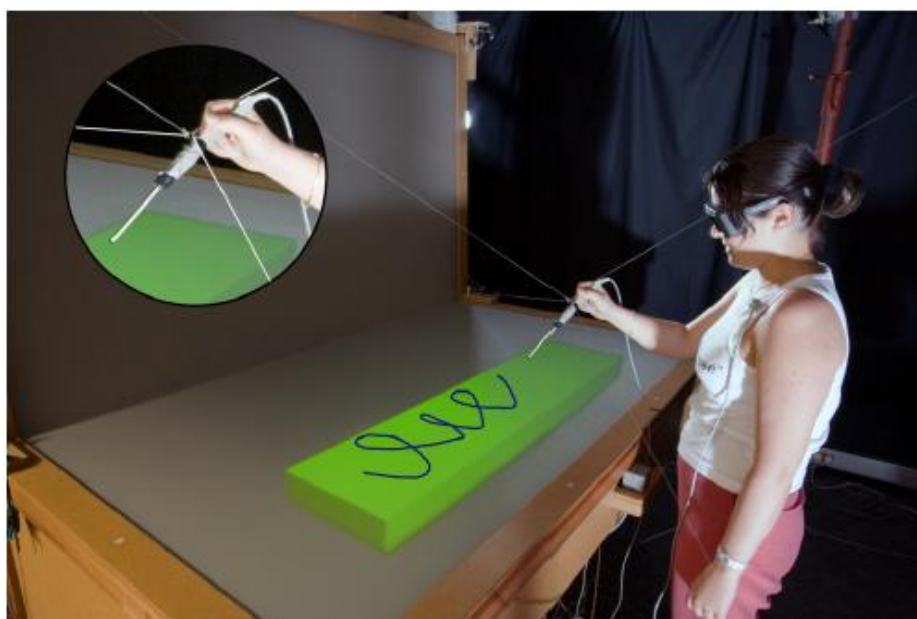


Figura 3.22. Sistema virtual *Stringed Haptic Workbench*

3.2 Comparativa de dispositivos y configuraciones empleadas

Nos encontramos con tres tipos de dispositivos:

1. **Entrada:**

- **Joystick:** Este dispositivo permite al usuario el control total del avatar desplazándolo por el escenario virtual en los tres ejes de direcciones. El uso de este dispositivo está focalizado en entorno no inmersivos.



Figura 3.23. Joystick

- **Eye Toy:** El uso mas convencional de esta dispositivo es junto a una conocida videoconsola en sus diferentes juegos. El dispositivo permite que el jugador interactúe con el entorno virtual de forma sencilla y sin cables, representando fielmente todos los movimientos del usuario.



Figura 3.24. Eye Toy

- **Aguja mecánica:** Este dispositivo permite al usuario trabajar en dos modos para realizar representaciones en el entorno virtual, para dibujar un punto o una línea. En el modo punto, basta con pulsar el botón del lápiz óptico para genera una marca en la posición y con la orientación deseada en cualquier lugar dentro del entorno 3D. En el modo línea, el usuario puede dibujar libremente una línea 3D dentro de su escena virtual.



Figura 3.25. Aguja mecánica

- **Sensores magnéticos:** Estos sensores recogen la posición y la orientación de las distintas partes del cuerpo del usuario sin ningún tipo de restricciones y de forma simultánea, y lo trasladan al entorno virtual.



Figura 3.26. Sensores magnéticos

- **Guante de datos:** Este dispositivo es un guante con una serie de sensores que permiten capturar el movimiento de la mano del usuario. Por lo tanto, el usuario al ponérselo es capaz de interactuar con el entorno virtual reproduciendo los movimientos de su mano.



Figura 3.27. Guante de datos

- **Tracking visual:** Este tipo de dispositivos permite registrar el movimiento realizado por lo ojos del usuario. De este modo, podemos conocer en todo momento donde tiene puesta la mirada el usuario.



Figura 3.28 Tracking visual

2. Salida:

- **Head Mount Display (HMD):** Este dispositivo permite una inversion total en el entorno virtual. Es una especie de casco donde las imágenes se proyectan directamente sobre los ojos del usuario, impidiendo que perciba el entorno real que lo rodea y haciendo que el usuario solo se centre en la proyecciones virtuales.



Figura 3.29. HMD

- **Gafas estereoscópicas:** Estas gafas son las que usamos comunmente en los cines para ver películas 3D. Estas gafas permite al usuario al ponerselas ver una proyeccion en 3D generadas de dos imágenes bidimensionales, creando una falsa ilusion de profundidad.



Figura 3.30. Gafas esteroscópicas

- **PARIS** (PersonalAugmented Reality Immersive System): Este sistema de realidad aumentada permite al usuario interactuar con sus manos o con otros dispositivos de entrada como el Phantom. Dando la sensación al usuario de que el mundo real y la realidad virtual se combinan de forma muy consistente y uniforme.

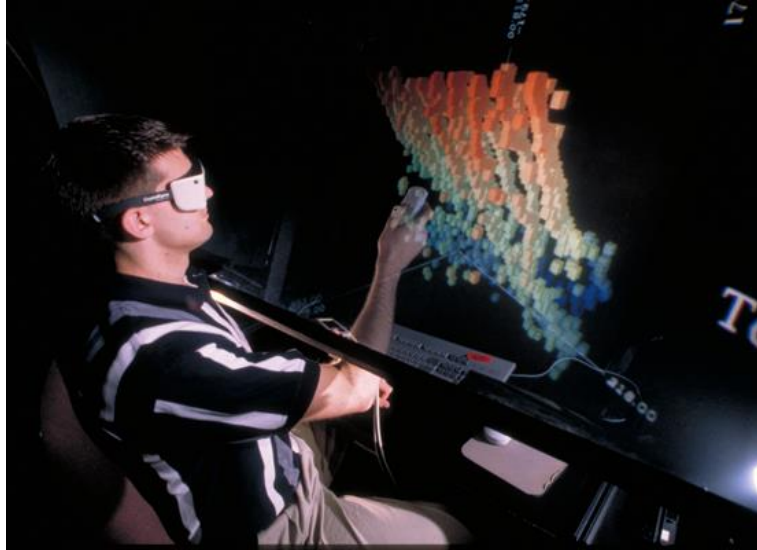


Figura 3.31. Sistema PARIS

3. Entrada/Salida:

- **Phantom:** Este dispositivo háptico permite al usuario sentir el entorno virtual que percibe estableciendo una interacción directa. Dándole al usuario la sensación de que el objeto virtual existe de forma física con unas determinadas dimensiones masa o textura. Esta interacción se realiza a través del brazo mecánico del Phantom.



Figura 3.32. Phantom

- **SPIDAR:** Este dispositivo háptico ofrece las mismas prestaciones que el dispositivo anterior pero la forma de interactuar es distinta. La interfaz de usuario está compuesta por unos hilos y unos sensores, conectados entre sí, que recuerdan a la estructura de una tela de araña.

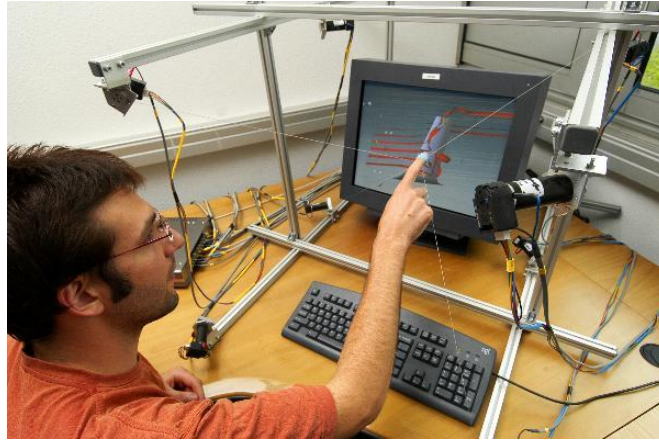


Figura 3.33. SPIDAR

Tenemos cuatro tipos de configuraciones:

1. 3D inmersivo: Este tipo de inmersión utiliza dispositivos externos como cascos y guantes para representar y manipular entornos tridimensionales. El objetivo es hacer creer al usuario que realmente forma parte del entorno virtual. Bien es cierto que intentar inhibir todos los sentidos del usuario para lograr una inmersión completa es una tarea ardua que requiere diseñar al detalle todos los aspectos tanto visuales como auditivos.



Figura 3.34. 3D inmersivo

2. 3D no inmersivo: Este tipo de inmersión tiene como objetivo aumentar la realidad del entorno virtual pero sin inhibir los sentidos del usuario. Por lo tanto, el usuario en ningún momento duda de si se encuentra en un entorno virtual o real. Actualmente este tipo de inmersión es muy habitual debido a la popularidad de las películas 3D puesto que la esencia es lograr mayor realismo a través de gafas especiales que nos muestra la profundidad de los entornos virtuales.



Figura 3.35. 3D no inmersivo

3. 2D no inmersivo: Este tipo de inmersión es el tradicional y el menos inmersivo de todos, puesto que se utiliza un monitor para la representación del entorno virtual y la manipulación del entorno suele realizarse con teclado y ratón. El resultado es que el usuario no se siente parte del entorno virtual.



Figura 3.36. 2D no inmersivo

4. Realidad aumentada: Este tipo de aplicación ofrece una visión directa o indirecta, de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. añadiendo una parte sintética virtual a la real.

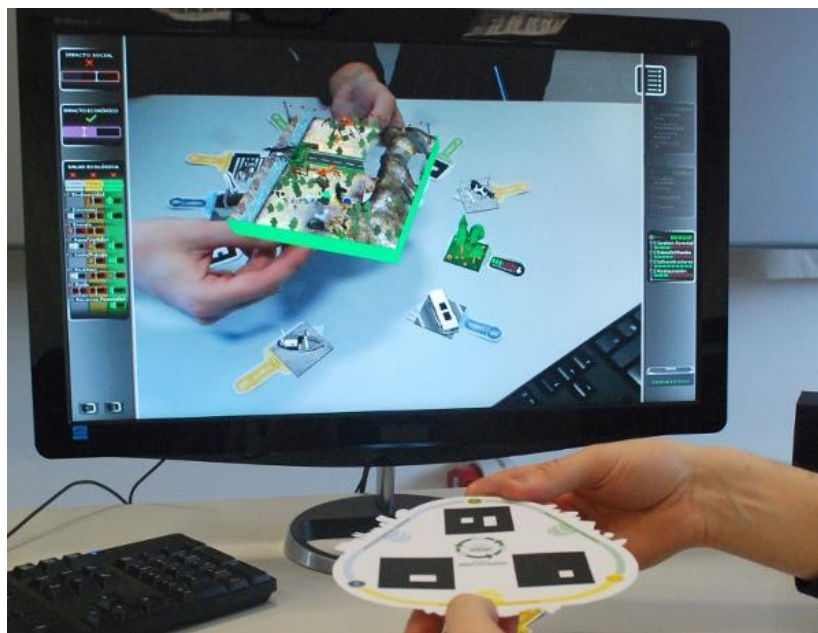


Figura 3.37. Realidad aumentada

Referencia Estudio	Tipo de dispositivos		Configuración de la aplicación
	Vista	Interacción	
[38]	HMD	Tracking visual	3D inmersivo
[39]	Gafas estereoscópicas	Tracking visual y Phantom	3D no inmersivo
[40]	Gafas estereoscópicas	Tracking visual y Phantom	3D no inmersivo
[41]	Gafas estereoscópicas	Phantom	3D no inmersivo
[42]	Gafas estereoscópicas y PARIS	Sensores magnéticos y Botón de respuesta	Realidad aumentada
[43]	Gafas estereoscópicas y PARIS	Sensores magnéticos y Botón de respuesta	Realidad aumentada
[44]	HMD	Joystick y Sensores magnéticos	3D inmersivo
[45]	Pantalla 27,5"	Joystick	2D no inmersivo
[46]	Gafas estereoscópicas	Phantom	3D no inmersivo
[47]	HMD	Cámaras de video	3D inmersivo
[48]	HMD	Sensores magnéticos	3D inmersivo
[49]	Monitor ordenador	Teclado ordenador	2D no inmersivo
[50]	Pantalla 27,5"	Joystick	2D no inmersivo
[51]	HMD	Sensores magnéticos	3D inmersivo
[52]	Monitor ordenador	Guantes de datos y sensores magnéticos	2D no inmersivo
[53]	Monitor	Cámara de video y guantes de datos	2D no inmersivo
[54]	Proyecto y pantalla con fondo blanco	Eye Toy	2D no inmersivo
[55]	Gafas estereoscópicas	SPIDAR, aguja mecánica y sensores magnéticos	3D no inmersivo

Figura 3.38. Comparativa de dispositivos y configuraciones de las aplicaciones

Podemos observar (ver Figura 3.38.) que la mayoría de aplicaciones son no inmersivas, utilizando básicamente gafas estereoscopias para la visualización de los distintos escenarios y en la interacción si nos encontramos con más variedad de dispositivos como puede ser un Phantom o un Joystick. Por otro lado, también podemos observar

que todas las aplicaciones de 3D inmersivas utilizan un dispositivo HMD para visualizar los distintos entornos virtuales. Por último, destacar el gran uso en bastantes estudios del dispositivo háptico Phantom y de una gran cantidad de sensores magnéticos.

4. Demostración de tres técnicas de rehabilitación en Realidad Virtual

El principal objetivo de esta sección es llevar a cabo en un entorno virtual las técnicas de rehabilitación para la NEU, que los expertos proponen para su tratamiento en la vida real y que como hemos visto en la sección anterior únicamente están presente dos de ellas en un estudio. A continuación se va a explicar el desarrollo de las tres implementaciones:

4.1 Análisis de las tecnologías existentes

Kinect

Kinect fue presentada por Microsoft en noviembre de 2010. Esta herramienta es un controlador con la capacidad de comandar e interactuar con la máquina sin necesidad de ningún tipo de contacto físico, tan solo realizando movimientos, gracias a una interfaz natural que reconoce los gestos, voz del usuario y las reproduce en comandos entendibles por el ordenador. Las principales características son [56,57]:

Dimensiones 37,59 cm x 14,98 cm x 12,19 cm

Peso (g) | 1500

Sensores

- Lentes de color y sensación de profundidad
- Micrófono *multi-array*
- Ajuste de sensor con su motor de inclinación

Campo de visión

- Campo de visión horizontal: 57 grados
- Campo de visión vertical: 43 grados
- Rango de inclinación física: ± 27 grados
- Rango de profundidad del sensor: 1,2 - 3,5 metros

Data Streams (Flujo de datos)

- 320×240 a 16 bits de profundidad @ 30fps
- 640×480 32-bit de color @ 30fps
- Audio de 16-bit @ 16 kHz

Sistema de Seguimiento

- Rastrea hasta 6 personas, incluyendo 2 jugadores activos
- Rastrea 20 articulaciones por jugador activo

Sistema de audio

- Sistema de cancelación de eco que aumenta la entrada de voz
- Reconocimiento múltiple de voz



Figura 4.1. Kinect

El sensor tiene una cámara RGB para capturar vídeo en color y la unión de un emisor de infrarrojos y la cámara hacen que se pueda averiguar la profundidad. Las mediciones de profundidad son devueltas en milímetros. Tiene los siguientes límites:

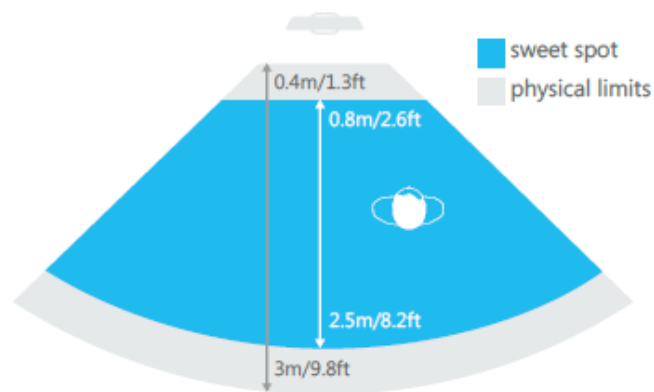


Figura 4.2. Rango de visión del sensor

Kinect nos permite usar el modo seguimiento *full skeleton*, donde captura 20 articulaciones del cuerpo humano.



Figura 4.3. Articulaciones que detecta el sensor

Así como, el sensor de Kinect detecta la entrada de audio de ± 50 grados en delante del sensor.

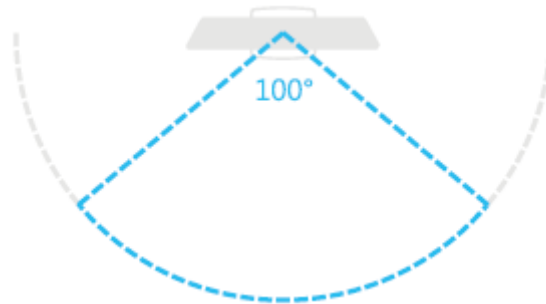


Figura 4.4. Rango de entrada de audio del sensor

Oculus Rift

Oculus Rift es un Head Mount Display de realidad virtual que está siendo desarrollado por Oculus VR. Actualmente, la versión para el consumidor (DK2) no está disponible pero se puede reservar, mejorando considerablemente la versión para desarrolladores (DK1). Con un ángulo de visión de 110 grados, una pantalla de alta resolución y latencias muy bajas en el rastreo de la posición de la cabeza, Oculus nos proporciona una experiencia inmersiva que nos permite explorar nuestros entornos virtuales favoritos. Las principales características del DK1 son [58]:

- Pantalla: LCD de 7 pulgadas en el kit de desarrollo 2.0, a 120 Hz.
- Ángulo de visión: Más de 90° por cada lente. Unos 110° en diagonal.
- Estereoscopia 3D: Óptica, mediante dos lentes.

- Formato de imagen y relación de aspecto: 16:10
- Resolución de imagen: 1280 x 800 en el Kit de desarrollo. La compañía proyecta una resolución de 1920 x 1080 para la versión final.
- Percepción de resolución real en el kit / versión final. 640 x 800, 960 x 1080.
- Profundidad de color: 24-bit.
- Conectividad: Entradas de vídeo por cable DVI, HDMI y USB.
- Compatibilidad: PC, aunque está en estudio el soporte para sistemas Linux, Mac, Android, PS4 y XB One.
- Alimentación: Independiente, por cable.
- Peso del visor: 390 g.



Figura 4.5. Oculus Rift

Leap Motion

Leap Motion es un sensor que permite controlar el ordenador a base de gestos en el aire, tanto usando los dedos como las manos. Lo que hace es trazar una imagen virtual de nuestras manos y articulaciones desde la muñeca, y rastrea todos los movimientos. Estamos acostumbrados a los periféricos de entrada del ordenador en dos dimensiones, como el ratón o una pantalla táctil, así que el Leap Motion descubre la tercera

dimensión, añadiendo mayor profundidad. Leap Motion es un nuevo sistema muy preciso y económico. Los desarrolladores aseguran que su sistema es doscientas veces más preciso que cualquier otro que podamos encontrar en el mercado, comparando con Kinect, y su precio de salida al mercado, es de 70 dólares. El pequeño dispositivo donde están los sensores, se conecta vía USB, y no requiere de ningún tipo de calibrado o configuración especial. El sistema reconoce manos, dedos, e incluso objetos, dentro de su espacio de trabajo. Leap Motion interpreta los movimientos a gran velocidad, sin retraso aparente desde que son realizados. El nivel de definición de captura de movimientos permite realizar de zoom con dos dedos, dibujar con un lápiz, o girar objetos tridimensionales. [59]



Figura 4.6. Leap Motion

Finalmente, se ha decidido utilizar Oculus Rift unido a Kinect, debido a que estas tecnologías nos permite un mayor margen de detección corporal frente al Leap Motion que solo capta los movimientos de una mano, aunque para ello tengamos que sacrificar un mayor grado de precisión. Podemos detectar todo el cuerpo del paciente de forma más natural debido a que los límites espaciales no son tan restrictivos como la otra alternativa, incluso podemos navegar en el espacio 3D sin necesidad de utilizar un aparato especial de seguimiento pegado al cuerpo del paciente. Por último, añadir que Kinect proporciona un módulo de detección de voz por si fuese necesario en un futuro.

4.2 Plataforma para la creación del entorno virtual

Como plataforma para realizar las distintas implementaciones se ha seleccionado Unity 3D, que es un motor de videojuegos multiplataforma creado por Unity Technologies. Los principales motivos para esta elección son que nos permite un desarrollo rápido y sencillo, sin perder potencia gracias a las intuitivas herramientas que proporciona. La programación se realiza a través de scripts en C#, JavaScript y Boo. Estos scripts nos permiten dotar a los objetos comportamiento y que interactúen entre ellos.

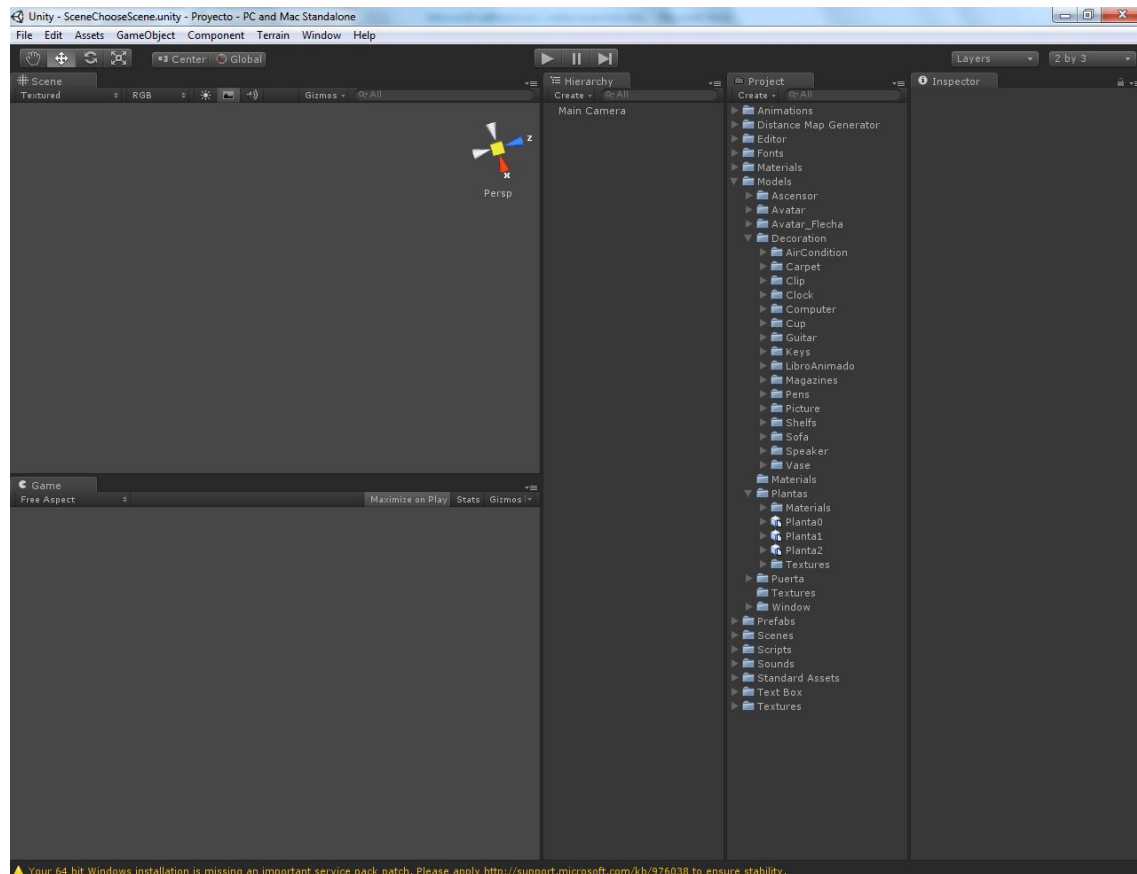


Figura 4.7. Interfaz Unity 3D

La unidad fundamental para crear entornos virtuales es la escena o escenario, cada escena representa un nivel o pantalla del espacio 3D. Permitiendo combinar distintas escenas o simplemente creando una únicamente. Cada escena se comienza construyendo añadiendo envases vacíos, denominados *GameObjects*, que pueden convertirse en cualquier cosa, a través de la asignación de componentes, podemos definir comportamientos, movimientos y la apariencia visual de la escena. Estos componentes son las luces, mallas, efectos especiales, texturas, materiales, audio, cámaras y emisores de partículas entre otros. A su vez, cada componente tiene su propio conjunto de propiedades ajustables, por ejemplo, rango e intensidad de la luz.

También podemos añadir a las escenas figuras geométricas predefinidas como esferas o cubos, cajas, cápsulas, mallas, etc. y situarlos, escalarlos y rotarlos en el entorno 3D según nuestras necesidades.

Unity nos permite reproducir las condiciones físicas deseadas, así como, la presencia de gravedad u otros tipos de fuerzas, además, nos permite detectar colisiones entre objetos o definir zonas *trigger* o disparadores que lanzan eventos en el mundo 3D, definidos previamente.

Cada script creado en Unity representa un comportamiento, que se aplica o asigna a los objetos 3D de las escenas.

Unity 3D tiene una Asset Store que nos facilita una gran cantidad de soluciones ya desarrolladas tanto de forma gratuita como de pago. La integración de Unity con Kinect fue tomada de esta Asset Store [60,61] y la integración de Unity con Oculus Rift de la página web oficial de Oculus Rift en la sección de desarrolladores [58]. De esta forma, solo nos tenemos que preocupar de desarrollar los distintos escenarios virtuales y los distintos comportamientos asociados.

4.3 Escenario virtual

Para realizar las demostraciones, en primer lugar se ha diseñado un entorno o escenario virtual que representa un aula de trabajo con ordenadores, pizarras, mesas, sillas, ventanas, estanterías, etc. (ver Figura 4.8.) Estos objetos han sido descargados del Asset Store. [62] De esta forma, conseguimos un mayor realismo en las demostraciones, ya que los sujetos al sumergirse en el entorno virtual se encuentran con una proyección de un entorno real y creíble. Otro motivo importante, es la capacidad de generar puntos de referencia espaciales dentro del mundo, como veremos más adelante en la demostración de la adaptación prismática.



Figura 4.8. Escenario virtual

4.4 Estimulación optocinética

La implementación de esta técnica consistió en generar un gran número de esferas virtuales separadas a la misma distancia unas de otras y que se desplazan de forma uniforme y a velocidad constante hacia el lado derecho o izquierdo consiguiendo que el paciente desvíe la mirada hacia el lado estimulado. Las esferas son de color rojo y se situaron delante de una pantalla con una imagen de un paisaje, con el objetivo de centrar la atención del sujeto en la parte derecha de la imagen (ya que el movimiento de las esferas es hacia este lado).

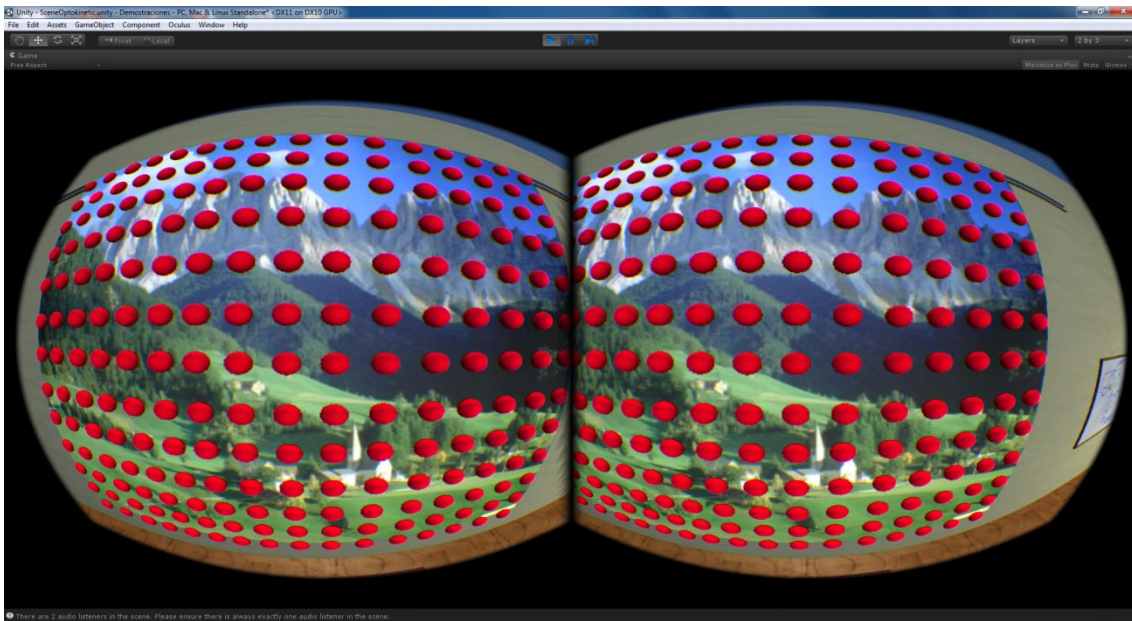


Figura 4.9. Estimacion optocinetica

4.5 Eye patching

Para desarrollar esta técnica en primer lugar se realizó un estudio en profundidad del funcionamiento de las cámaras del Oculus Rift en Unity [62]. En base a la información encontrada, el sistema está compuesto por dos cámaras independientes separadas una de otra a una distancia configurable por el usuario denominada IPD (*Inter-Pupillary Distance*). El valor por defecto es similar más o menos a la distancia existente entre las pupilas de los seres humanos (0.064 metros) y este valor se mantuvo para dar mayor realismo al sistema. El mayor problema a la hora de colocar los parches delante de cada cámara fue que un parche no interfiriese en las dos cámaras de forma simultánea, problema difícil de solucionar si tenemos en cuenta la poca distancia que hay entre las cámaras y el gran campo de visión de las cámaras. Para poder solventar este impedimento Unity nos permite crear capas, de esta forma se incluyó cada parche a una capa distinta y a continuación se configuró cada cámara para que solo visualizase la capa correspondiente a su parche. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

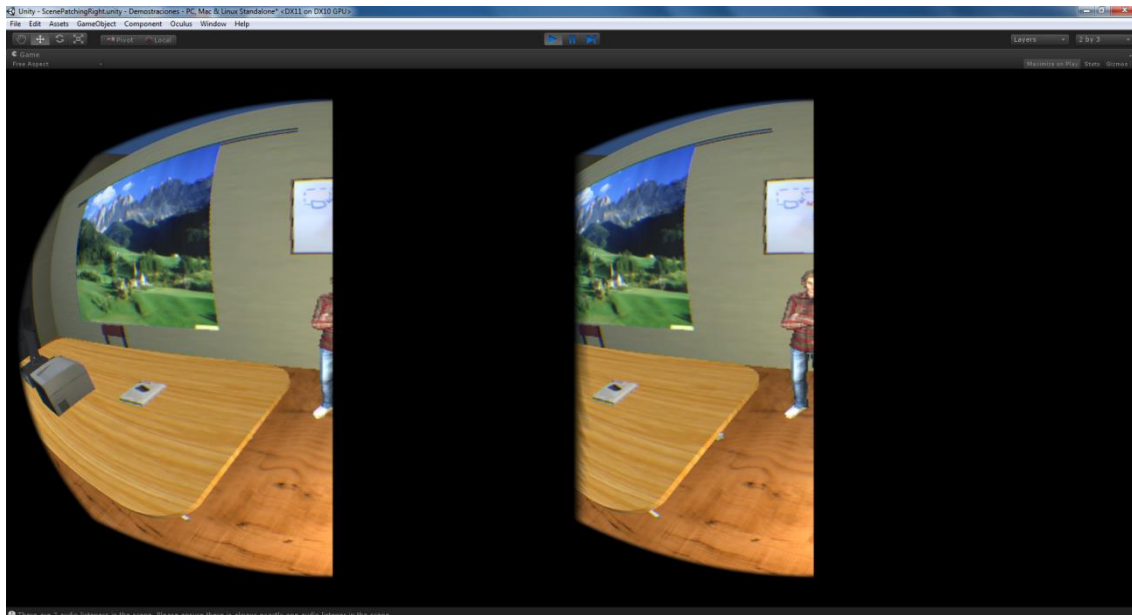


Figura 4.10. Mitad derecha tapada

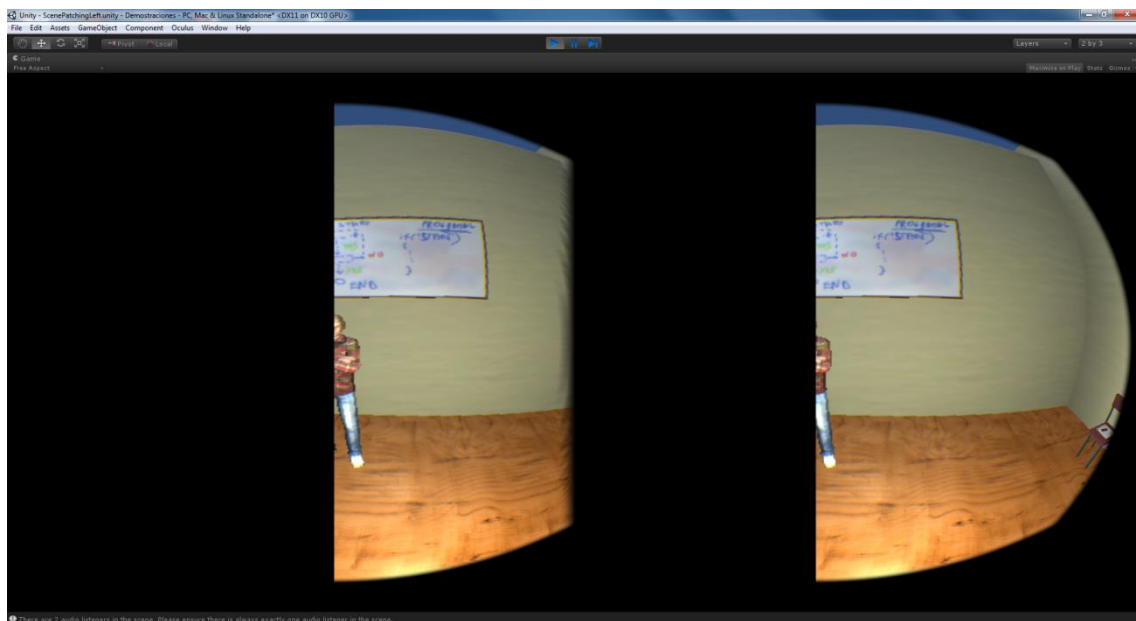


Figura 4.11. Mitad izquierda tapada

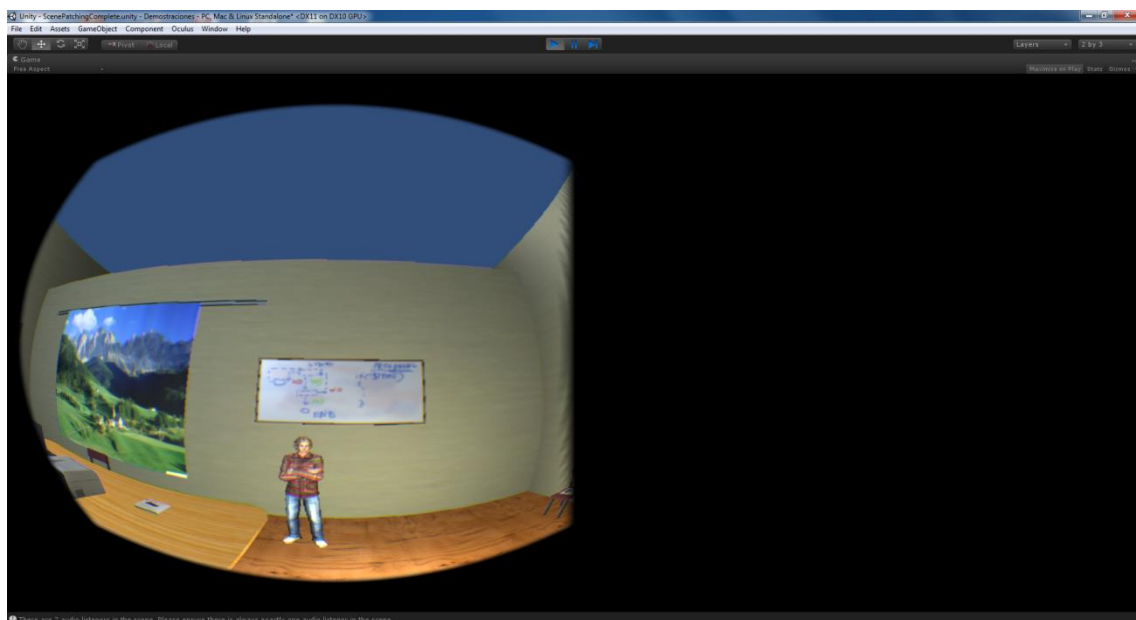


Figura 4.12. Ojo derecho tapado

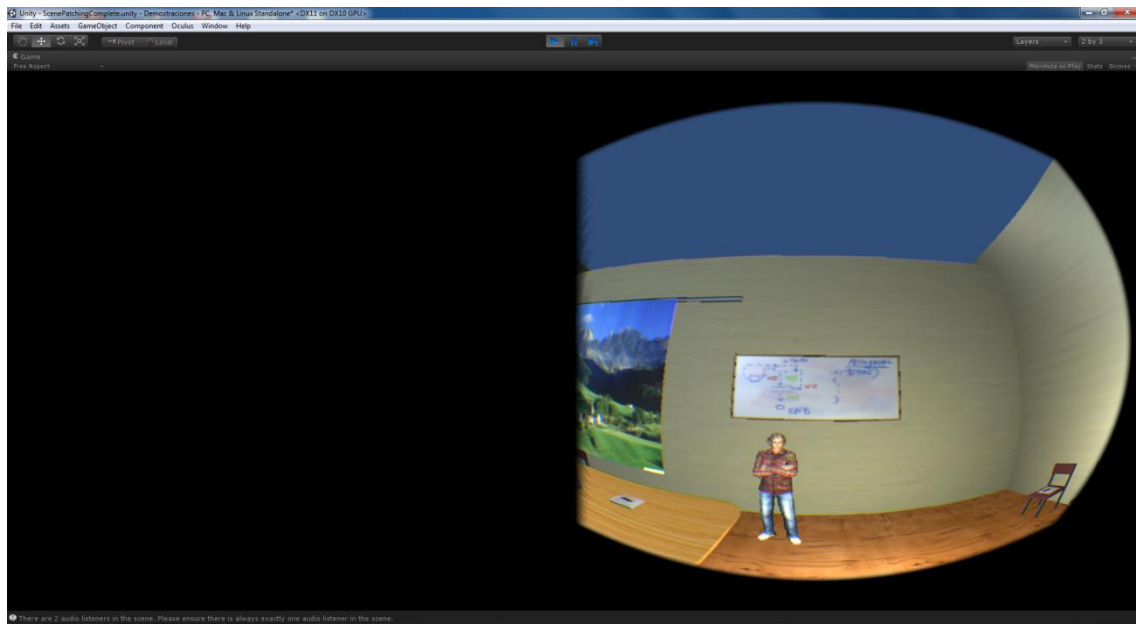


Figura 4.13. Ojo izquierdo tapado

Se puede observar que cada cámara representa un ojo distinto. Y se realizaron cuatro tipos de efectos tapando la mitad derecha del ojo, la mitad izquierda del ojo, el ojo derecho completamente y el ojo izquierdo completamente.

4.6 Adaptación prismática

Al igual que en el apartado anterior, también se precisó la ayuda de la documentación de Oculus Rift para conseguir encontrar un parámetro de configuración que nos permitiera rotar la vista de las cámaras al comienzo de la ejecución del sistema. Este parámetro se denomina *YRotation* y los grados de desviación introducidos fueron cincuenta grados a la derecha, esta cantidad tan elevada ha sido escogida para mostrar más claramente el efecto de la técnica. En esta demostración se integraron tanto las Oculus Rift como el sensor Kinect y el resultado se muestra a continuación:

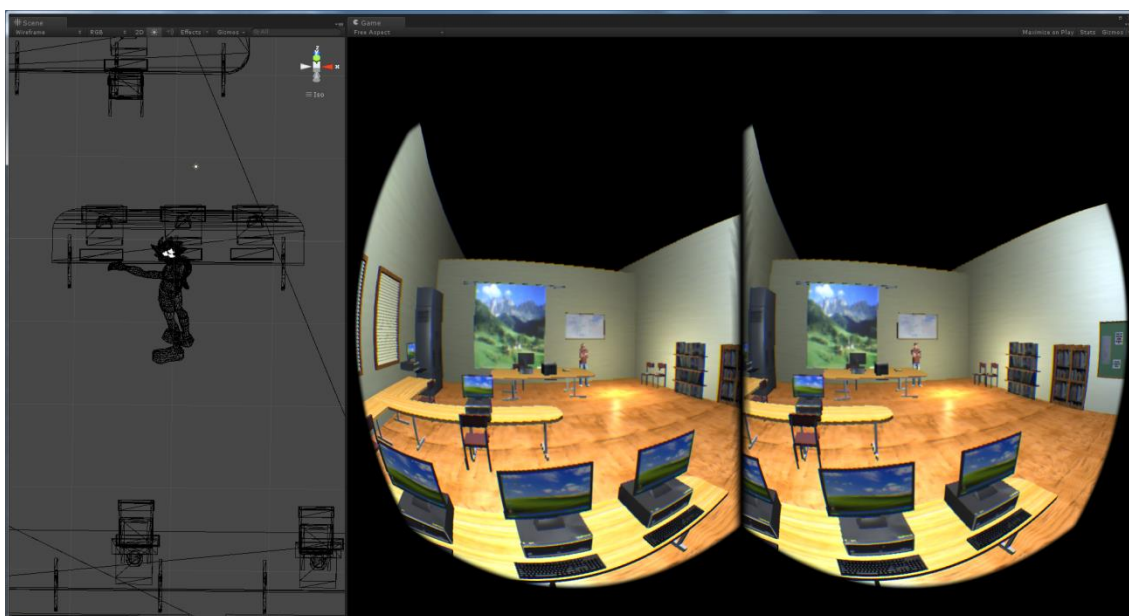


Figura 4.14. Adaptación prismática

Para entender correctamente el efecto de esta técnica es necesario explicar la Figura 4.14., la vista de la izquierda y la vista de la derecha muestran la misma escena, la única diferencia es que en la vista de la izquierda, la cámara es en tercera persona y en la vista de la derecha, la cámara es en primera persona a través de las cámaras del Oculus Rift. Se puede observar en la vista de la izquierda a un avatar que representa al sujeto y copia sus mismos movimientos a través del sensor Kinect, el icono blanco que tiene en su cabeza representa a la cámara del Oculus Rift. El sujeto está situado delante de una mesa con tres ordenadores, tiene su brazo izquierdo extendido al frente y tiene su cuerpo rotado hacia la izquierda. El porqué de todo esto, como comentábamos anteriormente sobre los puntos de referencia espaciales, se debe a que el sujeto al tener una desviación en las cámaras, él observa que el ordenador del centro de la mesa se encuentra delante de él (como vemos en la vista de primera persona), pero en realidad no es así, porque al estirar su brazo al frente en realidad apunta hacia el ordenador de la izquierda (como vemos en la vista de tercera persona). De hecho el sujeto no ve la representación virtual de su brazo al estirarlo al frente, de esta forma conseguimos que

el sujeto adapte su comportamiento a esta nueva situación y se desvíe hacia el lado al que está desviada la cámara.

5. Evaluador del tipo y grado de negligencia en Realidad Virtual

En este apartado se explica la estructura del evaluador.

5.1 Análisis de las tecnologías existentes

El análisis realizado es similar al del apartado 4.1.

5.2 Plataforma para la creación del entorno virtual

La plataforma es la misma a la del apartado 4.2.

5.3 Arquitectura software del sistema

La arquitectura diseñada está compuesta por doce escenas, de las cuales, diez escenas corresponden con los ejercicios del evaluador, la primera escena es una escena de calibración y la última escena muestra al usuario los resultados obtenidos, se puede observar en la figura 5.1. la transición entre escenas. Por otro lado, nos encontramos con la clase Gestor, que es la encargada de controlar la lógica de la aplicación, esta clase recibe los datos del paciente y los resultados de los test obtenidos y realiza el diagnóstico. Los encargados de enviar esta información al gestor, son objetos 3D que se encuentran dentro de las distintas escenas y que van notificando las acciones que va realizando el paciente en cada escena. A su vez, uno de estos objetos de cada escena se encarga de contabilizar el tiempo máximo (20 segundos por escena) y cuando se cumple, carga la siguiente escena del sistema. A estos objetos, se les añaden comportamiento a través de scripts. Finalmente, el diagnóstico es enviado a la escena resultados para que lo muestre.

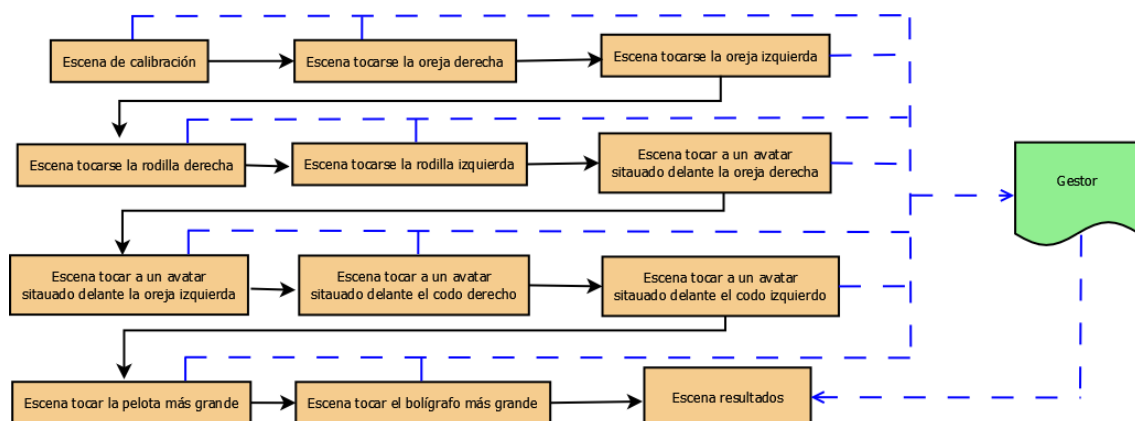


Figura 5.1. Arquitectura del sistema

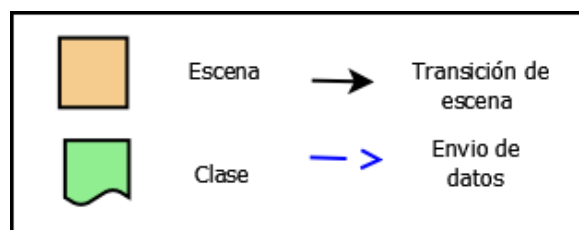


Figura 5.2. Leyenda de la arquitectura

5.4 Desarrollo de la aplicación

En primer lugar, comentar que esta aplicación no tiene ningún valor médico, ya que no ha sido realizada siguiendo las indicaciones de personal especializado, ni para la creación y desarrollo de los tests ni para la evaluación de los mismos. Simplemente se pretende aportar como sería un sistema virtual de este tipo aplicado a la evaluación de la NEU. En esta aplicación se integraron tanto las Oculus Rift como el sensor Kinect para su desarrollo. La aplicación tiene al comienzo una fase de calibración que consiste en situar al paciente a una distancia adecuada al sensor y alineando el plano mediosagital del cuerpo del paciente con la parte central del sensor Kinect. A continuación el paciente se pone las Oculus Rift y ya está listo para comenzar la prueba. Al arrancar la aplicación se muestra la siguiente pantalla:

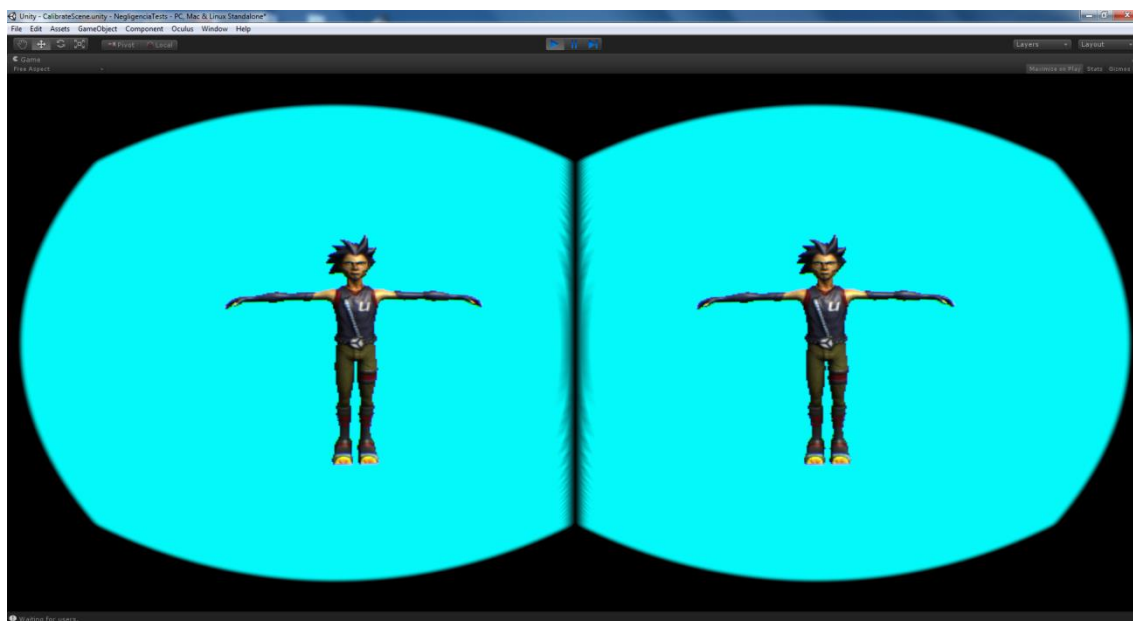


Figura 5.3. Pantalla de inicio

El sistema se encuentra en espera de detectar al sujeto como un avatar con los brazos extendidos, cuando ya lo ha detectado el avatar copia los movimientos del paciente como se ve en la Figura 5.2.

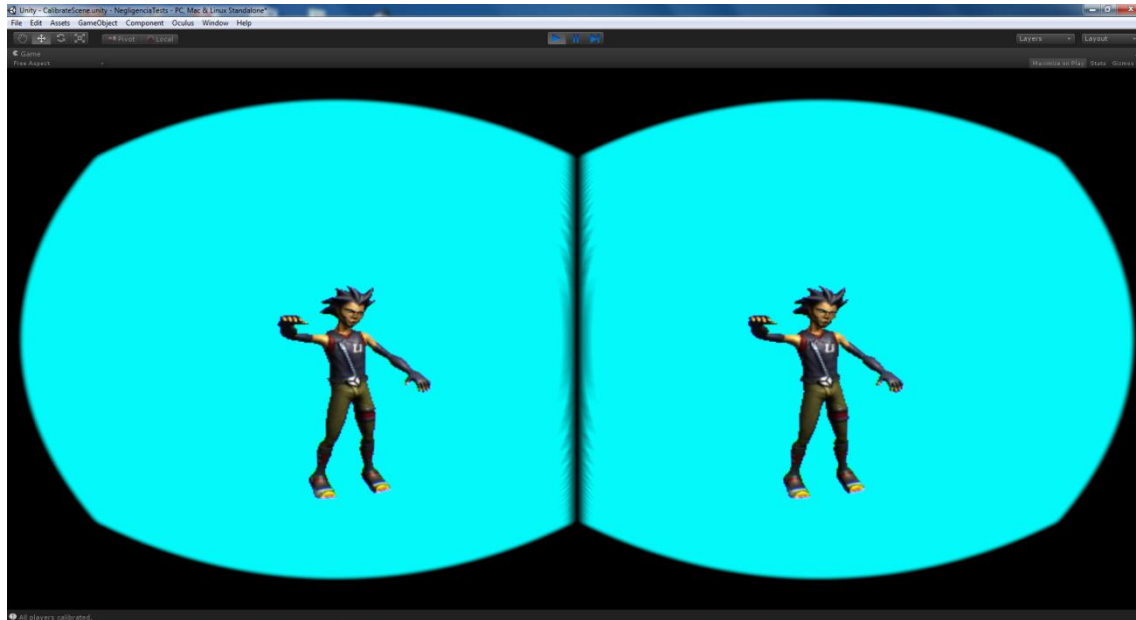


Figura 5.4. Pantalla de calibración

Una vez que el paciente se encuentra cómodo en el entorno, ha realizado varios movimientos y se ha adaptado al uso del sistema y de la cámara, está listo para comenzar la prueba y para ello en un principio se pensó que el sujeto diese una palmada pero debido a que un gran número de pacientes que sufre NEU tiene un lado de su cuerpo paralizado, la acción para comenzar la prueba se estableció en que el paciente se tocara la cabeza con una mano.

Cuando ya ha comenzado la evaluación, los tests se ejecutan de forma automática y cada test se muestra durante veinte segundos y pasa al siguiente, en este tiempo se le pide al paciente que realice una tarea. Las instrucciones las recibe el paciente de forma oral y concisa. La evaluación consta de diez pruebas, en las que el paciente tiene que seleccionar una parte de su cuerpo requerida (cuatro pruebas), una parte requerida del cuerpo de un avatar situado delante (cuatro pruebas) y el objeto más grande de una escena que se le muestra (dos pruebas). La forma que el sujeto tiene de seleccionar los distintos objetivos es tocándolos y cuando esto se produce, los objetivos comienzan a parpadear para marcar que han sido seleccionados correctamente en forma de estímulo visual.

Las cuatro pruebas referentes a seleccionar partes de su cuerpo, consisten en que el sujeto se toque su oreja derecha, su oreja izquierda, su rodilla derecha y su rodilla izquierda. Podemos ver dos pruebas de estas cuatro en el entorno virtual en las Figuras 5.3. y 5.4.

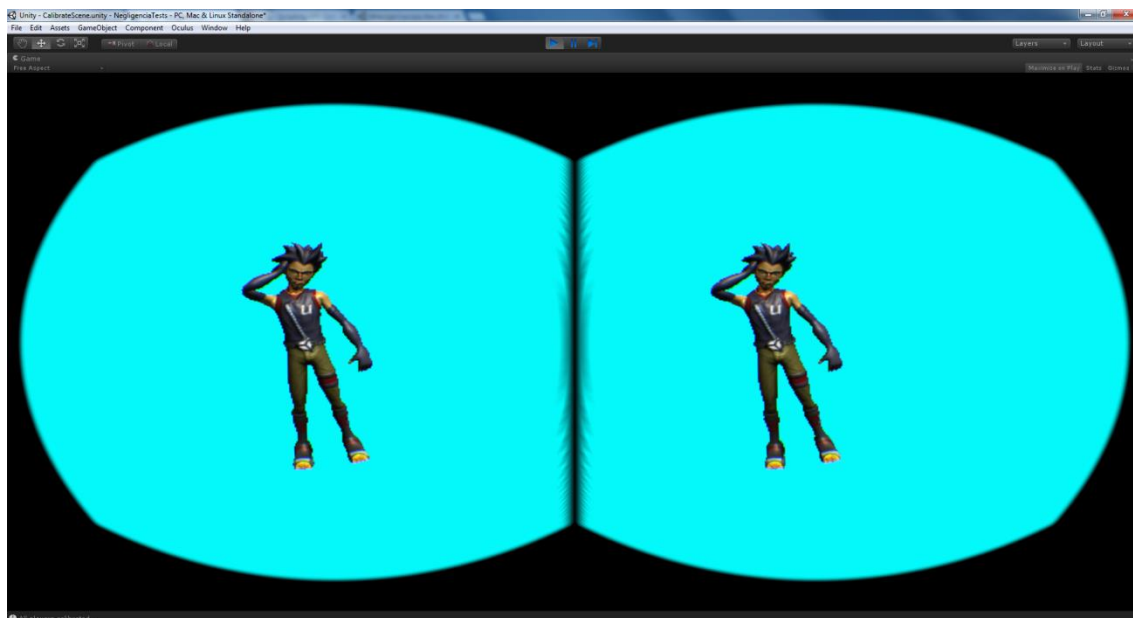


Figura 5.5. Test tocarse la oreja derecha

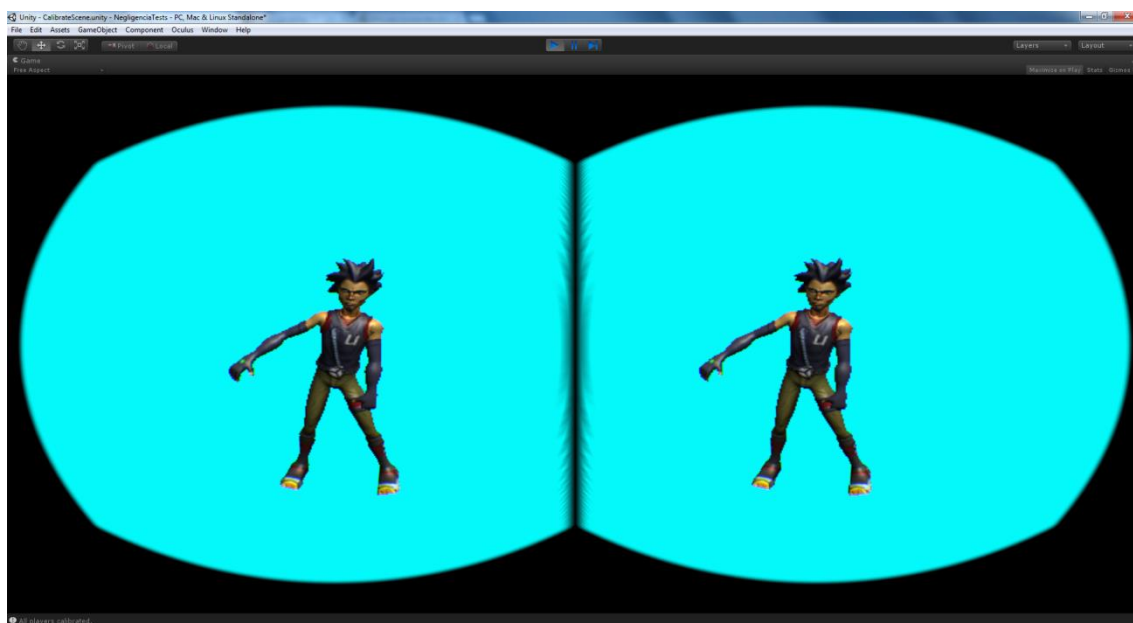


Figura 5.6. Test tocarse la rodilla izquierda

Las cuatro pruebas referentes a seleccionar partes del cuerpo de un avatar situado delante, consisten en que el sujeto le toque al avatar la oreja derecha, la oreja izquierda, el codo derecho y el codo izquierdo. Podemos ver dos pruebas de estas cuatro en el entorno virtual en las Figuras 5.5. y 5.6.

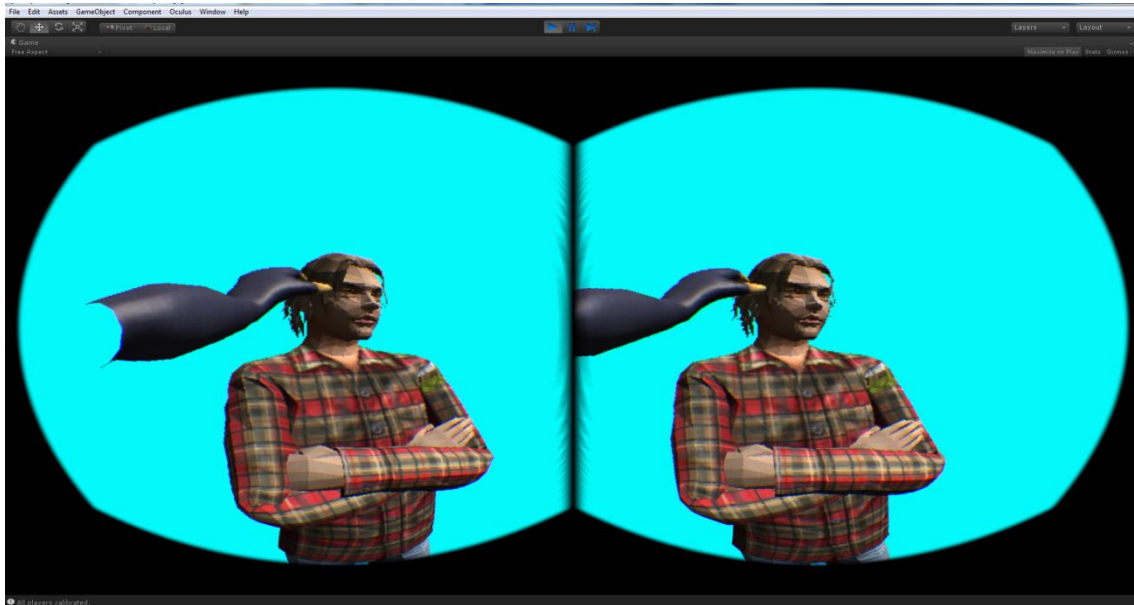


Figura 5.7. Test tocar la oreja derecha de un avatar situado delante

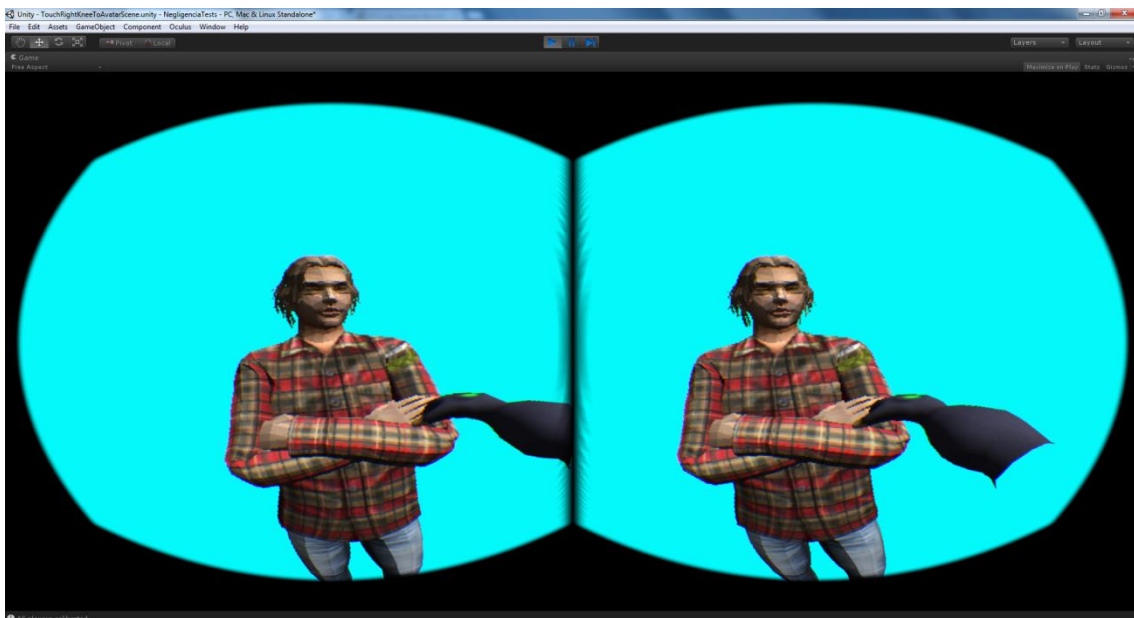


Figura 5.8. Test tocar el codo izquierdo de un avatar situado delante

Las dos pruebas referentes a seleccionar el objeto más grande de la escena que se le muestra, consisten en que el sujeto toque la pelota más grande y el bolígrafo más grande. Podemos ver las dos pruebas en el entorno virtual en las Figuras 5.7. y 5.8.

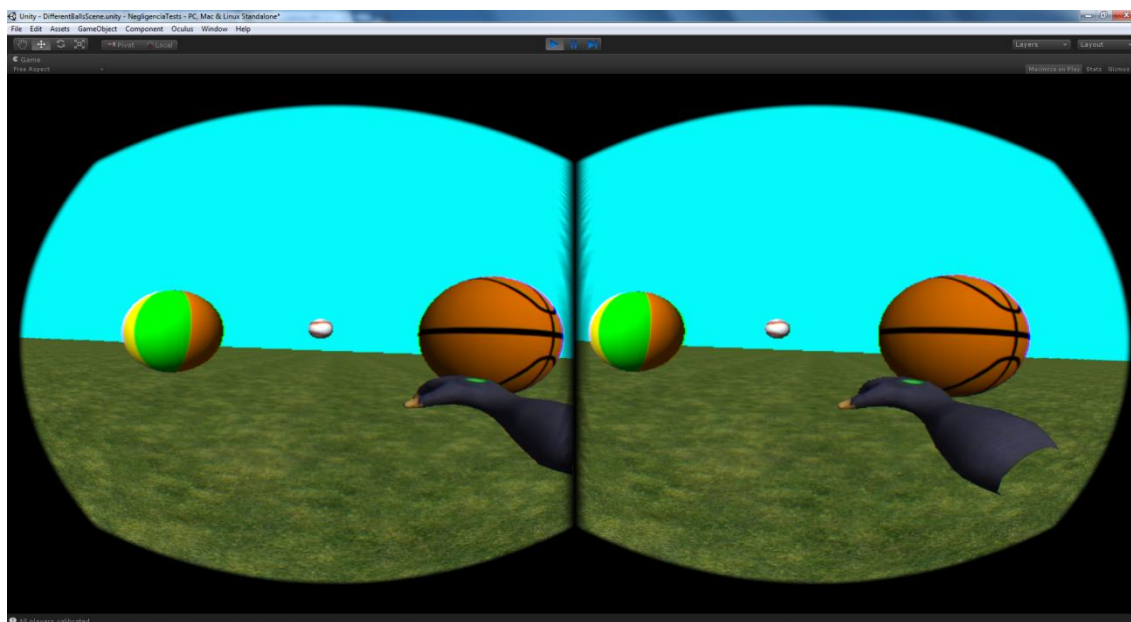


Figura 5.9. Test seleccionar la pelota más grande

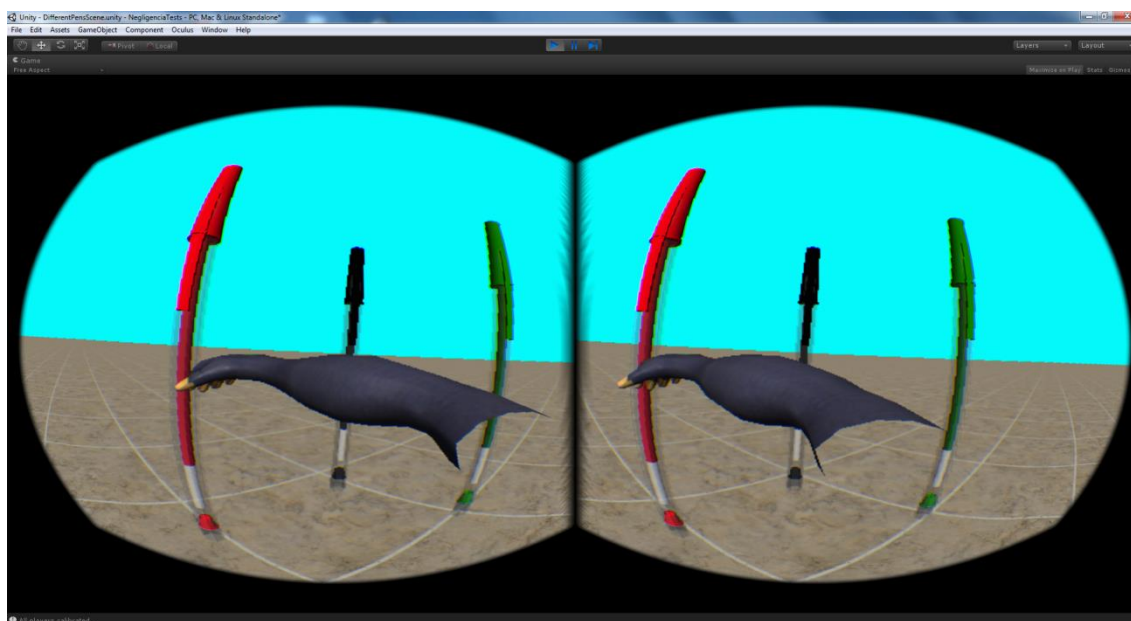


Figura 5.10. Test seleccionar el bolígrafo más grande

El orden en que las pruebas se muestran al paciente esta predefinido. Si el sujeto pasado el tiempo de la escena (veinte segundos) no ha seleccionado ninguna opción, el resultado de ese test se da como fallido. Una vez finalizada las pruebas se muestra una pantalla con los resultados obtenidos (Figura 5.9.).

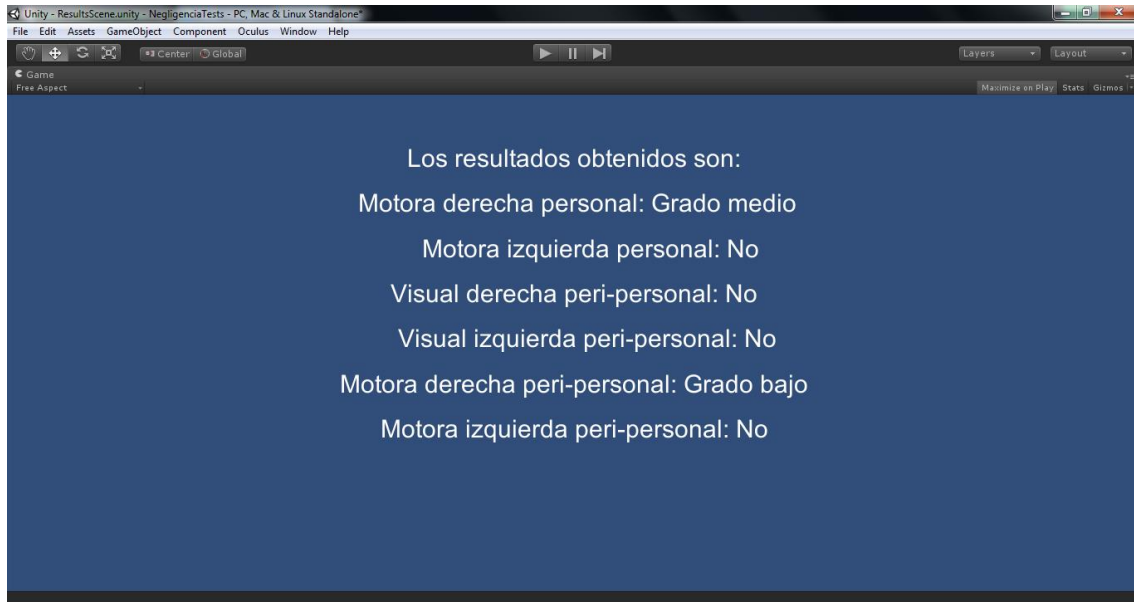


Figura 5.11. Resultados de la evaluación

Estos resultados se muestran cuatro posibles diagnósticos, presencia negativa de los síntomas y en caso de presencia positiva, tenemos grados de presencia de la enfermedad: bajo, medio y alto. El diagnostico se divide en seis partes como se puede ver en la Figura 5.9. La forma de hallar los resultados ha sido realizada contabilizando el número de test que afectan a cada parte del diagnóstico y ponderándolo según los resultados obtenidos, es decir, si el paciente no falló ningún test no hay presencia de la enfermedad, si el paciente falló entre un 1-33.3 % de los tests el diagnostico será grado bajo, si el paciente fallo entre un 33.3-66.6 % de los tests el diagnostico será grado medio y si el paciente fallo entre un 66.6-100 % de los tests el diagnostico será grado alto. Recordar que esta forma de evaluación carece de valor clínico. A continuación, se puede ver en la Figura 5.10. la relación de los tests con las distintas partes del diagnóstico que se ven afectadas por sus resultados.

Test	Motora Derecha Personal	Motora Izquierda Personal	Visual Derecha Peri-Personal	Visual Izquierda Peri-Personal	Motora Derecha Peri-Personal	Motora Izquierda Peri-Personal
Tocarte la oreja derecha	X					
Tocarte la oreja izquierda		X				
Tocarte la rodilla derecha	X					
Tocarte la rodilla izquierda		X				
Tocar la oreja derecha del avatar				X		X
Tocar la oreja izquierda del avatar			X		X	
Tocar el codo derecho del avatar				X		X
Tocar el codo izquierdo del avatar			X		X	
Seleccionar la pelota más grande			X		X	
Seleccionar el bolígrafo más grande				X		X

Figura 5.12. Tabla relacional de los tests y las partes del diagnóstico que afectan

Por último, añadir que el sistema virtual no ha sido probado con pacientes reales con la enfermedad. En la fase de validación del sistema se han realizado varias pruebas, en la primera se pasaban correctamente todos los ejercicios del test comprobando que hay

ausencia de la enfermedad en el diagnóstico, las siguientes pruebas que se han llevado a cabo fueron especializadas en cada parte del diagnóstico: presencia de enfermedad con distintos grados (fallando todos los ejercicios pertenecientes a esa parte del diagnóstico o un número determinado de ejercicios para validar los diagnósticos de grado alto, medio y bajo).

6. Conclusiones y trabajos futuros

En el presente trabajo se muestra que existe una gran variedad de soluciones en entornos virtuales para el tratamiento y la evaluación de la NEU. Estas soluciones aportan una gran variedad de beneficios y una serie de desventajas, aparte de ser la única opción posible o viable en muchos casos a la hora de validar hipótesis o teorías acerca de la enfermedad o probar nuevas formas de evaluación o tratamiento. Por otro lado, y más centrado en la parte práctica del proyecto. Enfatizar que el principal objetivo de llevar a cabo las tres técnicas de rehabilitación para la NEU en un entorno virtual (estimulación optocinética, *eye patching* y adaptación prismática) es debido a que estas técnicas son las utilizadas por los expertos médicos y que ellos proponen para su tratamiento en la vida real, y que como se ha visto en el análisis de los estudios encontrados no tienen gran presencia en los tratamientos virtuales. Por lo tanto, se intenta aportar la implementación de estas técnicas novedosas en el campo de la realidad virtual actualmente. Seguidamente, con el desarrollo del evaluador de posibles pacientes con NEU, simplemente, se pretende aportar como sería un sistema virtual de este tipo aplicado a la evaluación de la NEU, ya que carece de valor médico. Y que estos dos sistemas de forma conjunta, constituyen un primer paso hacia un enfoque alternativo para la evaluación y el tratamiento de la enfermedad, más personalizado y eficaz.

En primer lugar, cabe destacar las múltiples ventajas. Trabajar en un entorno informatizado nos permite registrar una gran cantidad de información sobre el paciente, su forma de comportarse, modo de exploración del entorno, tiempo que tarda en realizar una tarea, movimientos que realiza, etc. El registro de estos datos enriquece el valor de la aplicación, ya que puede ser usado para el análisis del efecto que tiene la enfermedad en el paciente o determinar el nivel de progreso en la terapia. El almacenamiento de toda esta información nos permite, a su vez, la capacidad de reproducir el comportamiento de cada paciente de forma posterior para observarlo o estudiarlo con mayor detenimiento.

El siguiente elemento a destacar sería la capacidad de automatización de la supervisión de la terapia. Muchas de las pruebas para evaluación o tratamiento de la enfermedad están supervisadas por un terapeuta que ejerce las labores de instructor o guía, controla el tiempo, se encarga de controlar que todo el proceso se realiza de forma correcta, etc. Esta labor podría ser realizada de forma automática por el ordenador o por un terapeuta virtual, sirviendo de gran apoyo a los terapeutas que se podrían liberar de estas funciones y concentrarse en otras partes más importantes del tratamiento.

La realización de las terapias en los mundos 3D aporta una gran capacidad de dinamismo, aportando un alto grado de adaptación al paciente. En la terapia convencional tanto las pruebas como los tratamientos son habitualmente los mismos, aplicados una y otra vez de forma monótona. La inclusión de los mundos virtuales permitiría adaptar las pruebas y el tratamiento a las necesidades del paciente, teniendo en cuenta en todo momento, sus posibles avances, así como sus posibles recaídas a lo largo de la terapia, y focalizar los esfuerzos en los puntos críticos a mejorar.

Por último, en lo referente a las ventajas, cabe resaltar las diferencias de las pruebas que son en lápiz y papel a trabajar en tres dimensiones. La aparición de una nueva dimensión nos aporta la capacidad de explorar otras alternativas de estudio y análisis de la enfermedad. Esto supone un valor añadido al poder combinar los resultados de ambos tipos de pruebas, lo que nos permitirá extraer conclusiones más elaboradas y consistentes con la enfermedad del paciente.

A continuación, en lo relativo a las desventajas, hay que destacar que trabajar con entornos virtuales supone un gasto superior al de las pruebas o tratamientos convencionales, ya que requiere la inversión de una cantidad de dinero en comprar los equipos y los dispositivos necesarios para realizar las terapias. Estos dispositivos no suelen ser baratos, aunque con el paso del tiempo el precio de la tecnología disminuye de forma considerable.

El uso de 3D en las terapias también supone la adecuación de una o varias salas a las condiciones necesarias para trabajar en estos entornos de forma adecuada, así como, el mantenimiento de los equipos y los dispositivos.

Un factor importante y determinante para todos los estudios que se quieran llevar a cabo, es la precisión de los dispositivos utilizados, ya que de esto depende que los resultados obtenidos sean fiables y no tengan interferencias ajenas al estudio. Por ejemplo, desde nuestra experiencia personal después de trabajar con Oculus Rift y con el sensor Kinect, la calidad de las imágenes que muestra el Oculus Rift no es todo lo satisfactoria que se esperaba, ya que muchas veces las escenas se ven un poco borrosas, como tampoco lo es, la precisión con la que el sensor Kinect reproduce los movimientos del paciente.

También tenemos que tener en cuenta que estas tecnologías pueden producir efectos negativos en los pacientes, como mareos, náuseas, fatiga, dolor de cabeza y otros tipos de problemas médicos asociados con el uso de entornos virtuales 3D. Se debe tener en cuenta que no todos los pacientes reaccionan de igual forma a la inmersión en estos entornos.

Y por último, en lo referente a las desventajas, la implantación de estos sistemas supondría la necesidad de formar a los terapeutas y a los pacientes en el uso de los nuevos sistemas, lo que sería costoso de realizar y a su vez podría provocar en los terapeutas cierto rechazo, pudiendo sentirse suplantados por estas soluciones.

Finalmente, y como se comentaba anteriormente, en algunos casos estos sistemas pueden ser la opción más factible e incluso la única opción posible, ya que permiten situaciones que no pueden ser llevados a cabo en la realidad, o sería muy difícil hacerlo con la total seguridad de que se cumplen todas las condiciones o variables necesarias para validar hipótesis o teorías acerca de la enfermedad o probar nuevas formas de evaluación o tratamiento.

Como trabajos futuros, se podría mejorar el evaluador desarrollado incluyendo más pruebas, permitiendo realizar una evaluación más exhaustiva y que englobase todos los tipos de negligencia. Y que dentro de cada tipo de negligencia, la aplicación realizase una clasificación precisa con unos rangos bien definidos. Para todo esto, resaltar que sería necesaria la colaboración de personal especializado en la enfermedad, a la hora de establecer las pautas a seguir en el diseño de las pruebas y del método de evaluación de las mismas. Ya que la aplicación en este momento carece de valor clínico.

También se podría implementar un mayor número de técnicas para la rehabilitación de la NEU y crear un sistema conjunto de evaluación y tratamiento. Este sistema actuaría como un terapeuta virtual inteligente, realizando todas las tareas que realiza un terapeuta en las terapias tradicionales. Este sistema podría realizar evaluaciones constantes del paciente para controlar su estado y su progreso, proponerle tratamientos específicos de forma dinámica para mejorar su estado actual, guiarle, proporcionarle ayudas cuando lo precise, etc. De esta forma conseguiríamos adaptarnos a las necesidades del paciente, generando terapias personalizadas.

Así mismo que se podría intentar combinar el tratamiento mediante terapia virtual (que contendría un gran número de métodos de rehabilitación) con el método de la estimulación magnética transcraneal y observar si los resultados son mejores combinados que de forma independiente, lo que supondría realizar pruebas con pacientes reales. De esta forma podríamos generar datos verídicos sobre la efectividad de estas terapias y de su posible efecto potenciador al combinarlas.

Por último, se podría estudiar la inclusión de técnicas de *gamificación* o *serious games* en las terapias para motivar e incitar a los pacientes a lo largo de la rehabilitación. De esta forma, podríamos conseguir un efecto positivo en los pacientes a la hora de usar el sistema o aplicación, reduciendo la cantidad de abandonos de la terapia y fomentando las ganas de progresar en la terapia, así como, las de utilizar la aplicación.

Bibliografía

- [1] Heilman KM, Watson RT, Valenstein E. Neglect and related disorders. In: Heilman KM, Valenstein E, eds. *Clinical Neuropsychology*. New York, NY: Oxford University Press; 1993:279–336.
- [2] Psinergia – Centro de Psicología y Desarrollo Personal. [Online] Available: <http://centropsinergia.wordpress.com/2012/01/02/sindrome-de-negligencia-unilateral-ignorar-el-lado-izquierdo-del-mundo/> [Acceso: 18-06-2014]
- [3] Bisiach, E., Perani, D., Vallar, G., & Berti, A. (1986). Unilateral neglect: personal and extra-personal. *Neuropsychologia*, 24, 6, 759–767
- [4] El blog para la recuperación del ACV. [Online] Available: <http://www.neuroaid.com/es/blog/discapacidades-acv/negligencia-unilateral-despues-de-un-acv/> [Acceso: 18-06-2014]
- [5] Negligencia hemiespacial, Presentación, Causas, Variedades, Secuelas, Tratamiento Centrodeartigos.com © [Online] Available: http://centrodeartigos.com/articulos-para-saber-mas/article_50364.html [Acceso: 19-06-2014]
- [6] Estévez, AF, Fuentes JL. Negligencia Visual Unilateral (I) Evaluación. *Psicología Conductual*, Vol. 6, Nº 3, 1998, pp. 533-554
- [7] Albert, M.L. (1973). A simple test of visual neglect. *Neurology*, 23, 658-664
- [8] Gauthier, L., Dehaut, F. y Joannette, Y. (1989). The bells test: A quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-53.
- [9] Mesulam, M.M. (1985). Attention, confusional states and neglect. En M.M. Mesulam (dir.), *Principles of behavioural neurology* (pp. 125-168). Philadelphia: F.A. Davis
- [10] Halligan, P.W., Cockburn, J. y Wilson, B. (1991). The behavioural assessment of visual neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1, 5-35.
- [11] Wilson, B.A., Cockburn, J. y Halligan, P.W. (1987). *Behavioural Inattention Test*. Thames Valley Test Company
- [12] Diller, L., Ben-Yishay, Y., Gerstman, L.J., Goodking, R., Gordon, W. y Weinberg, J. (1974). *Studies in cognition and rehabilitation in hemiplegia*. Rehabilitation Monograph Nº. 50. Nueva York: New York University Medical Center Institute of Rehabilitation Medicine
- [13] Kinsbourne, M. (1974). Mechanisms of hemispheric interaction in man. En M. Kinsbourne y W.L. Smith (dirs.). *Hemispheric disconnection and cerebral function*. Springfield, IL: C.C. Thomas.
- [14] Massironi, M.; Antonucci, G.; Pizzamiglio, L.; Vitale, M.V.; Zoccolotti, P. (1989) The Wundt-Jastrow illusion in the study of spatial hemi-inattention. *Neuropsychologia*. 26(1):161-6.
- [15] Azouvi, P., Bartolomeo, P., Beis, J.M., Perronnou, D., Pradat-Diehl, P., Rousseau, M. (2006). A battery of tests for the quantitative assessment of unilateral neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 24, 273-285
- [16] Azouvi, P., Marshal, F., Samuel, C., Morin, L., Renard, C., Louis-Dreyfus, A., Jokic, C., Wiart, L., Pradat-Diehl, P., Deloche, G. y Bergego, C. (1996). Functional consequences and awareness of unilateral neglect: Study of an evaluation scale. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6, 133-150.

- [17] Cocchini, G., Beschin, N., and Jehkonen, M. (2001). The Fluff Test: A simple task to assess body representation neglect. *Neuropsychological Rehabilitation: An International Journal*, 11, 1, 17-31
- [18] Pizzamiglio, L., Judica, A., Razzano, C. y Zoccolotti, P. (1989). Toward a comprehensive diagnosis of visual-spatial disorders in unilateral brain damaged patients. *Psychological Assessment*, 5, 199-218.
- [19] Byrne, D. (1967). Progressive picture compositions. Picture set 1. Burnt Mill, Harlow: Longman. Columbo, A., De Renzi, E. y Faglioni, P. (1976). The occurrence of visual neglect in patients with unilateral cerebral disease. *Cortex*, 12, 221-231.
- [20] Tham, K. y Tegnér, R. (1996). The Baking Tray Task: A test of spatial neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6, 19-25.
- [21] Arroyo-Anlló, E. M.; Pluchon, C.; Gil, R. (2007). Rehabilitación de la inatención espacial. *Psiquiatr Biol* 14, 98-107
- [22] Clark CR, Geffen GM, Geffen LB. Catecholamines and the covert orienting of attention. *Neuropsychologia*. 1989; 127:131-40.
- [23] Jakala P, Riekkinen M, Sirvio J, Koivisto E, Kejonen K, Vanhanen M, et al. Guanfacine, but not clonidine, improves planning and working memory performance in humans. *Neuropsychopharmacology*. 1999; 20:460-70.
- [24] Robertson I, Nico D, Hodd BM. The intention to act improves unilateral left neglect: two demonstrations. *NeuroReport*. 1995; 7:246-8.
- [25] Robertson I, Tegner R, Tham K, Lo A, Nimmo-Smith I. Sustained attention training for unilateral neglect: theoretical and rehabilitation implications. *J Clin Exp Neuropsychol*. 1995; 3:416-30.
- [26] Beis JM, Andre JM, Baumgarten A, Challier B. Eye patching in unilateral spatial neglect: efficacy of two methods. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80(1); 71-76
- [27] Rode G, Perenin MT. Temporary remission of representational hemineglect through vestibular stimulation. *NeuroReport*. 1994; 5:869-72.
- [28] Pizzamiglio L, Frasca R, Guariglia C, et al. Effects of optokinetic stimulation in patients with visual neglect. *Cortex* 1990; 26:535-40.
- [29] Vallar G, Rusconi ML, Barozzi S, Bernardini B, Ovidia D, Papagno C, et al. Improvement of left visuo-spatial hemineglect by left-sided transcutaneous electrical stimulation. *Neuropsychologia*. 1995; 33:73-82.
- [30] Karnath HO, Christ K, Hartje W. Decrease of contralateral neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline. *Brain*. 1993; 116:383-96.
- [31] Wiart L, Come AB, Debelleix X, Petit H, Joseph PA, Mazaux JM, et al. Unilateral neglect syndrome rehabilitation by trunk rotation and scanning training. *Arch Phys Med Rehab*. 1997; 78:424-9.
- [32] Muñoz-Marrón, E.; Redolar-Ripoll, D.; Zulaica-Cardoso, A. (2012). Nuevas aproximaciones terapéuticas en el tratamiento de la heminegligencia: la estimulación magnética transcraneal. *Rev Neurol* 55, 297-305
- [33] Pisella L, Rode G, Farne A, Tilikete C, et al. (2006). Prism adaptation in the rehabilitation of patients with visuo-spatial cognitive disorders. *Current Opinion in Neurology* 19(6):534-42.
- [34] Smania N, Martini MC, Prior M, Marzi CA. Input and response determinants of visual extinction: a case study. *Cortex*. 1997; 32:567-91.

- [35] Lawson IR. Visual-spatial neglect in lesions of the right cerebral hemisphere: A study in recovery. *Neurology*. 1962; 12: 23-33.
- [36] Pizzamiglio L, Perani D, Cappa SF, Vallar G, Paolucci S, Grassi F, et al. Recovery of neglect after right hemispheric damage: H2(15)O positron emission tomographic activation study. *Arch Neurol*. 1998; 55:561-8.
- [37] Diller L, Weinberg J. Hemi-inattention in rehabilitation: The evolution of a rational remediation program. En: Weistein EA, Friedland RP, editores. *Advanges in neurology*. New York: Raven Press; 1977. p. 63-82
- [38] Gupta V, Knott BA, Kodgi S, et al. Using the “VREye” system for the assessment of unilateral visual neglect: two case reports. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 2000; 9:1268–86.
- [39] Baheux K, Yoshizawa M, Tanaka A, et al. (2004) Diagnosis and rehabilitation of patients with hemispatial neglect using virtual reality technology. In *Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society*, pp 4908–11.
- [40] Baheux K, Yoshizawa M, Seki K, Handa Y. (2006) Virtual reality pencil and paper tests for neglect: a protocol. *Cyberpsychol Behav*. 9, 192-5
- [41] Broeren J, Samuelsson H, Stibrant-Sunnerhagen K, et al. Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta Neurologica Scandinavica* 2007; 116:157–63.
- [42] Assaf Y. Dvorkin; William Z. Rymer; Krista Settle; Patton, J.L. Perceptual assessment of spatial neglect within a virtual environment 2007 Virtual Rehabilitation, IWVR. 2007:175-179:[4362161].
- [43] Dvorkin A.Y., Rymer W.Z., Harvey R.L., Bogey R.A. & Patton J.L. Assessment and monitoring of recovery of spatial neglect within a virtual environment, *Proceedings of the IEEE Virtual Rehabilitation* 2008. p. 88-92, Vancouver, Canada, August 2008.
- [44] Morganti F. , Rusconi M.L., Cantagallo A., Mondin E., Riva G. (2007). A context-based interactive evaluation of neglect syndrome in virtual reality. *IEEE Virtual Rehabilitation Conference*, Venice 27-29 Sept, 2007.
- [45] Dawson, A., Buxbaum, L. J., & Rizzo, A. A. (2008). The virtual reality lateralized attention test: Sensitivity and validity of a new clinical tool for assessing hemispatial neglect. *IEEE XPlore, Virtual Rehabilitation* (25-27).
- [46] Fordell H, Bodin K, Bucht G, Malm J. A virtual reality test battery for assessment and screening of spatial neglect. *Acta Neurol Scand*: 2011: 123: 167–174.
- [47] Tanaka, Toshiaki; Ifukube, Tohru; Sugihara, Shunichi; Izumi, Takashi (2010). A case study of new assessment and training of unilateral spatial neglect in stroke patients: effect of visual image transformation and visual stimulation by using a head mounted display system (HMD). *Jourtanl of Neuroengineering and Rehabilitation*, Volumen: 7. Número de artículo: 7
- [48] Weiss, P. L., Naveh, Y., & Katz, N. (2003). Design and testing of a virtual environment to train stroke patients with unilateral spatial neglect to cross a street safely. *Occupational Therapy International*, 10, 39–55.
- [49] Kim, J., Kim, K., Kim, D. Y., Chang, W. H., Park, C. I., Ohn, S. H., et al. (2007). Virtual environment training system for rehabilitation of stroke patients with unilateral neglect: Crossing the virtual street. *Cyberpsychology and Behavior*, 10, 7–15.
- [50] Lloréns, R.; Navarro, M. D.; Alcañiz, M.; Colomer, C.; Noé, E. (2012). Convergent validation of a virtual reality-based street crossing with neuropsychological tests in

neglected and non-neglected stroke patients. Proc. 9th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Associated Technologies

[51] Kim K, Kim J, Ku J, et al. A virtual reality assessment and training system for unilateral neglect. *Cyberpsychology & Behavior* 2004; 7:742–49.

[52] Ansuini, C., Pierno, A. C., Lusher, D., & Castiello, U. (2006). Virtual reality applications for the remapping of space in neglect patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 24, 431–441.

[53] Kim, Yong Mi; Chun, Min Ho; Yun, Gi Jeong; Song, Young Jin; Young ,Han Eun. (2011). The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*. 35, 309-15

[54] Sedda, A.; Borghese, N. A.; Ronchetti, M; Mainettib, R.; Pasottia, F.; Beretta G. ; Bottinia, G. (2013). Using virtual reality to rehabilitate neglect. *Behavioural Neurology*, 26, 183-185

[55] Tsirlin, I.; Dupierri, E.; Chokron, S.; Ohlmann, T.; Coquillart, S. (2010). Multimodal Virtual Reality Application for the Study of Unilateral Spatial Neglect 2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR) Páginas: 127-30

[56] Especificaciones técnicas de Kinect [Online] Available: <http://www.fayerwayer.com/2010/06/especificaciones-tecnicas-de-kinect/> [Acceso: 23-06-2014]

[57] Microsoft Developer Network © 2014 Microsoft [Online] Available: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj663791.aspx> [Acceso: 23-06-2014]

[58] Oculus Rift Oculus VR® & © 2014 Oculus VR, Inc [Online] Available: <http://www.oculusvr.com/rift/> [Acceso: 23-06-2014]

[59] Leap Motion Copyright © 2014, Leap Motion, Inc [Online] Available: <https://www.leapmotion.com/> [Acceso: 23-06-2014]

[60] Kinect with MS-SDK, Unity Asset Store [Online] Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/7747> [Acceso: 1-07-2014]

[61] KinectExtras with MsSDK, Unity Asset Store [Online] Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/10492> [Acceso: 1-07-2014]

[62] Props for the Classroom, Unity Asset Store [Online] Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/5977> [Acceso: 10-07 2014]

[63] Oculus Rift Oculus VR® & © 2014 Oculus VR, Inc [Online] Available: http://static.oculusvr.com/sdkdownloads/documents/OculusUnityIntegrationGuide_0.3.2_Preview2.pdf [Acceso: 23-06-2014]